ГЕОЛОГИЯ ПАРАГЕНЕЗИС И ЗАПАСЫ РУД *ЗАРУБЕЖНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА*

СБОРНИК СТАТЕЙ

К Марфенину
1952 г.

553.411/416.:549

ГЕОЛОГИЯ, ПАРАГЕНЕЗИС И ЗАПАСЫ РУД ЗАРУБЕЖНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ СВИНЦА И ЦИНКА

СБОРНИК СТАТЕЙ

Под редакцией
К. ДЭНХЕМА

Перевод с английского, французского, немецкого, итальянского и испанского
С. В. МОРО и Е. А. РАДКЕВИЧ

Под редакцией и с предисловием
доктора геолого-минералогических наук
Е. А. РАДКЕВИЧ

И*Л

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва—1951

THE GEOLOGY, PARAGENESIS, AND RESERVES OF THE ORES OF LEAD AND ZINC

Edited by
K. C. DUNHAM

LONDON
1950



ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпуская настоящую книгу, представляющую перевод «Сборника по геологии, парагенезису и запасам руд свинца и цинка», изданного в 1950 г. в трудах 18-й сессии Международного геологического конгресса, мы ставим своей целью ознакомить советских читателей с главнейшими зарубежными месторождениями свинца и цинка.

Сборник объединяет свыше 30 статей по свинцово-цинковым рудным районам различных континентов и 11 дискуссионных заметок по вопросам, затронутым в основных статьях.

Достоинством сборника является то, что в нем дается та или иная характеристика геологии, строения и руд большинства известных свинцово-цинковых месторождений или рудных районов зарубежных стран. Статьи были написаны специально для данного сборника, и таким образом в них сообщаются новейшие данные, если не считать статей, опубликованных в иностранной периодике после середины 1950 г. (о месторождении Брокен Хилл и др.).

Подобное сводное издание появляется впервые в геологической литературе, и оно, несомненно, будет весьма полезным для широкого круга наших специалистов, работающих в области геологии, разведки и экономики месторождений свинца и цинка.

Однако, наряду с указанными достоинствами сборника, даваемое в нем изложение отдельных вопросов не может удовлетворить советского читателя и нуждается в критических замечаниях. Такие замечания необходимо сделать прежде всего по предпосланной сборнику вводной статье Дэнхема — главного петрографа Геологической службы Великобритании. В ней приведены общие сведения о добыче и запасах свинца и цинка по отдельным странам, районам и месторождениям, а также рассматриваются вопросы классификации свинцово-цинковых месторождений и устанавливается практическая ценность их отдельных генетических типов.

Следует отметить, что экономические сведения, приводимые в сводных таблицах, как это признает и сам автор, не являются в должной степени достоверными; по свидетельству Дэнхема, менее чем одна треть приводимых цифр относится к категории доказанных.

В первоисточниках, на основании которых составлена сводка, могут иметь место искажения как в ту, так и в другую сторону. В одних случаях капиталистические компании, преследуя рекламно-спекулятивные цели, могут значительно завышать запасы месторождений. В других случаях данные, публикуемые компаниями, могут быть и преуменьшены для дезориентации конкурентов. Наконец, в огромном большинстве случаев запасы просто не разведаны и о них приводятся мало обоснованные данные. Поэтому приводимые в сводках сведения имеют лишь относительную ценность, поскольку они знакомят лишь с общим порядком цифр запасов по отдельным странам, районам и месторождениям и дают приблизительные представления о мировых ресурсах свинца и цинка. Более достоверными являются цифры добычи руд и металлов, но и они не всегда точны [1].

Несмотря на имеющиеся недочеты, приведенные Дэнхемом сводные таблицы, несомненно, представляют интерес как относительно полная обобщающая информация, позволяющая до известной степени ориентироваться в экономике зарубежных ресурсов свинцово-цинковых руд.

Генетические вопросы и во введении, и в большей части последующих статей освещены слабо; трактовка их в большинстве случаев явно не удовлетворит советского читателя. В своей вводной статье Дэнхем использовал общеизвестные классификации рудных месторождений Ниггли и Линдгрена. Попытка применить для классификации свинцово-цинковых месторождений схему Ниггли автору не удается, получается сложная, дробная, но не всеобъемлющая классификация. Поэтому автор за основу принимает схему Линдгрена, несколько видоизменяя ее. Так, Дэнхем среди свинцово-цинковых месторождений выделяет следующие типы: 1) гипотермальный, 2) пирометасоматически-мезотермальный, 3) мезотермальный, 4) лептотермальный и 5) телетермальный.

В основу классификации здесь, как и у Линдгрена, таким образом, положена различная температура образования месторождений, зависящая, по Дэнхему, прямым образом от глубины. В этом отношении Дэнхем полностью повторяет основную ошибку Линдгрена, параллелизовавшего факторы температуры и глубинности. Однако мы хорошо знаем, что высокотемпературные месторождения могут возникать на разных глубинах, включая близповерхностные горизонты (третичные месторождения Приморья, Мексики, Боливии), то есть совсем не обязательно являются глубинными. Даже и для месторождений, залегающих среди древних глубоко метаморфизованных пород, далеко не

[1] Сведения по СССР в переводе опущены, поскольку наши специалисты могут располагать более полными и достоверными данными.

всегда доказывается значительная глубина их образования. В этом случае руды могут возникать, как отмечает и сам автор, позднее регионального метаморфизма, после значительного периода эрозии, уже на меньших глубинах. Неубедительно заключение Дэнхема о том, что на значительную глубину рудообразования будто бы указывает уже сам факт интенсивного замещения метаморфических минералов рудоносными растворами. Между тем общеизвестно, что минералы изменяются именно тогда, когда они попадают в условия, резко отличные от тех, при которых они образовались, и таким образом изменение минералов метаморфического комплекса указывает как раз на то, что рудообразование развивалось в обстановке, существенно отличной от имевшей место в процессе регионального метаморфизма. В некоторых случаях пространственное сонахождение руды и метаморфических пород является результатом более поздних, чем метаморфизм, геологических процессов.

Столь же неоправдана трактовка генезиса и второй генетической группы Дэнхема — месторождений пирометасоматически-мезотермальных, к которым он относит рудоносные скарны. Представление о пирометасоматическом происхождении скарнообразующих силикатов, сопровождаемых сульфидами свинца и цинка, в свете современных достижений советской науки о рудных месторождениях является устаревшим. Работами советских ученых, и в особенности Д. С. Коржинского, доказано, что даже там, где скарнообразующие силикаты развиваются на контакте с интрузивными телами, они представляют в большинстве случаев не собственно контактовое (пирометасоматическое) образование, а возникают значительно позднее, после кристаллизации и, обычно, дробления интрузивных пород. Скарнообразующие силикаты обязаны взаимодействию поступающих из глубины рудоносных растворов с карбонатными породами на их контакте с ранее образовавшейся кислой интрузивной породой. Поскольку принцип реакционного биметасоматоза, разработанный Д. С. Коржинским, отрицает пирометасоматическое образование приконтактовых рудоносных скарнов, то тем менее применимо название «пирометасоматические» к скарновым рудным телам, удаленным от интрузий. Название *пирометасоматически-мезотермальные* неправильно и в отношении второй своей части. Не ясно, на основании чего определяется принадлежность собственно рудной части этих месторождений к мезотермальному классу. Известны многочисленные примеры месторождений, где рудные составляющие тесно связаны во времени со скарнообразующими силикатами и являются, судя по этому, достаточно высокотемпературными. О значительной температуре образования (порядка 400°) минералов сульфидной стадии говорят наблюдения над характером продуктов распада твердых растворов в таких минералах, как халько-

пирит, сфалерит. Таким образом, нет никаких оснований ограничивать температуру образования отмеченных месторождений только условиями «мезотермальной зоны» — в основном это как раз наиболее высокотемпературные рудопроявления среди свинцово-цинковых месторождений. Основная же особенность месторождений этого типа — исключительное развитие их среди известняков и зависимость химизма рудоносных скарнов от состава вмещающих пород — не находит отражения в приводимой Дэнхемом классификации. Такое же понимание скарнов, как собственно контактовых пирометасоматических образований, приводится и в других статьях сборника (о китайских месторождениях, о месторождении Стантрг, Югославия).

Терминологически неправильным является противопоставление пирометасоматически-мезотермальным месторождениям глубинных мезотермальных и метасоматических рудных тел (тип III). В первом случае автор имеет в виду способ образования, во втором — абсолютную глубину образования рудных тел, которая, как, впрочем, и температура, в большинстве случаев точно не устанавливается. В группу глубинных телетермальных жил и метасоматических тел попадают все месторождения, которые по характерным признакам не могут быть включены в прочие группы. Что же касается до наиболее низкотемпературной — телетермальной группы, то в этой части сомнительным является утверждение автора о том, что рудовмещающие полости при образовании месторождений этого типа подготавливаются грунтовыми водами; едва ли этот процесс во многих районах играл существенную роль. Несомненно, гидротермальное происхождение рудопроявлений этого типа позволяет предполагать, что оруденение развивалось на некотором расстоянии от поверхности; рудовмещающие же полости могли развиваться как в процессе оруденения, так и в процессе предрудного гидротермального изменения пород — доломитизации, силификации и др. В общем же, при образовании месторождений этого типа выполнение открытых полостей не играет сколько-нибудь существенной роли и рудоотложение совершается в основном метасоматически в процессе циркуляции растворов вдоль трещин.

Общим дефектом построения классификации Дэнхема является субъективность критериев, принимаемых за основу для характеристики температуры и абсолютной глубины рудообразования. Так, присутствие пирротина и магнетита без дополнительных доказательств принимается некоторыми геологами за достаточное доказательство высокотемпературного генезиса месторождения; светлый колломорфный сфалерит авторы одной из статей, публикуемых в сборнике, считают показателем температуры рудообразования в 100° (!). Совершенно очевидно, что светлый маложелезистый сфалерит может появляться при самых разнообраз-

ных температурах, отражая своим появлением скорее особенности химизма, чем температуры раствора. То же можно сказать и о колломорфных структурах, которые отнюдь не являются признаком низкотемпературного генезиса руд, как считает автор той же статьи. Как известно, колломорфные текстуры и структуры широко представлены и в высокотемпературных месторождениях, особенно в тех, что образовались на относительно небольшой глубине (Приморье, Боливия); таким образом, они служат скорее индикатором небольшого давления, чем признаком низкой температуры рудообразования.

Суммируя все вышеизложенное, следует сказать, что классификация подобного типа не содействует пониманию природных процессов, поскольку она подменяет всестороннее изучение генезиса месторождений наклеиванием ярлыков и механическим отнесением их к той или иной группе на основании чисто субъективных данных.

Основные статьи сборника довольно разнородны по содержанию и по форме, различны по ценности приводимых материалов. Среди них имеются, несомненно, интересные, например о месторождении Райбл (Кольбертальдо), месторождении Сулливан (Свансона), о рудной площади Франклин-Стерлинг (Пинжера) и др. Некоторые же статьи просто слабы; в научном отношении они стоят намного ниже наших обычных производственных отчетов. К числу таких слабых работ относятся статьи о Тунисе (Сэнфельда), о месторождениях Греции (Маринноса), о рудном округе Тачко (Фаулера и др.), о месторождении Пиоче (Юнга) и др.

Следует отметить весьма небрежное оформление графики в оригинале сборника. При уменьшении для печати (очевидно, путем фотографирования) некоторые надписи оказались совершенно неразборчивыми, а числовые масштабы неисправленными. Иногда приводится графика, не мотивированная текстом (топографическая карта местности в статье Фаулера и др., карты по Мексике); наконец, в одном месте легенда просто перепутана.

Несмотря на отмеченные существенные недостатки, мы публикуем все статьи, чтобы сохранить полноту представленных в сборнике материалов, имея в виду, что советский читатель при соответствующем критическом отношении извлечет из книги нужные для себя фактические сведения.

Е. А. Радкевич

ВВЕДЕНИЕ

К. ДЭНХЕМ[1]

По планам XVIII сессии Международного геологического конгресса, который должен был состояться в 1940 г. в Лондоне (созыву конгресса воспрепятствовала война), было намечено составление сборника статей по геологии и парагенезису руд свинца и цинка, призванного заменить характеристики объема мировых запасов, дававшиеся в связи с некоторыми предыдущими сессиями. Уже было закончено распределение двадцати статей по главнейшим типам месторождений свинца и цинка, когда выяснилась необходимость отсрочки сессии. В 1946 г., после окончания подготовки сборника, стало очевидно, что мировые запасы руд возросли.

Данные о запасах свинца и цинка в США, подготовленные Геологической службой и Горным бюро Соединенных Штатов, были опубликованы Пирсоном (1945) и оценивались, как обеспечивающие добычу только на 12 и 19 лет в соответствии с предвоенной скоростью эксплоатации. Лейкок (1946) в своем обращении к Институту горного дела и металлургии заметил: «Кажется, что заведомо достоверные запасы свинцовых руд в мире могут обеспечить добычу лишь в течение 14 лет от настоящего момента при предвоенной скорости потребления». В соответствии с этим было решено включить в сборник и данные по запасам; следует, однако, отметить, что не было соответствующих данных и не удалось выбрать удобное время, чтобы выполнить вполне удовлетворительный обзор по этому вопросу. Многие из авторов, приглашенные к сотрудничеству в 1939 г., выполнили это только теперь.

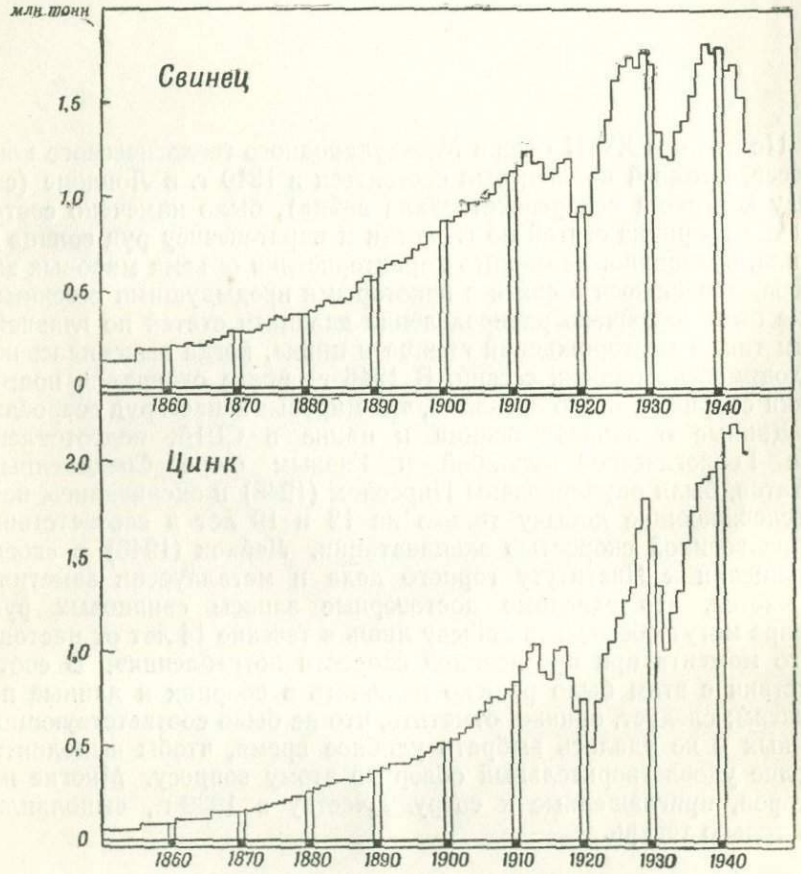
Мировая продукция

Мировая продукция свинца и цинка вплоть до 1929 г. подытожена в двух публикациях Горного бюро Соединенных Штатов (Смит, 1929; Пирсон, 1929). С начала XIX в. до 1869 г. рудники Британских островов были ведущими производителями свинцовой руды. Испания заняла первое место по добыче свинца после

---

[1] K. C. Dunham, старший петрограф Геологической службы Великобритании.

1869 г. и уступила его в 1881 г. Соединенным Штатам Америки. По цинку до 1901 г. первое место в мировом производстве занимала Германия, а второе — Бельгия. В 1901 г. Соединенные Штаты впервые заняли господствующее положение.



Фиг. 1. Мировая добыча свинца и цинка с 1851 по 1944 г. Диаграмма построена по данным Смита (1929) и Пирсона (1929) и статистическим сводкам Имперского института Великобритании.

Графики, показывающие данные по годовой продукции в течение последних ста лет (фиг. 1), показывают ее быстрый рост в течение конца XIX в. и в начале XX в. Максимум за весь период для обоих металлов был получен в 1938—1940 гг., но затем последовало заметное падение продукции с 1943 г., и неясно,

возможно ли в настоящее время обеспечить рост мирового производства этих металлов.

Подробные статистические данные по отдельным странам за период 1936—1947 гг. даны в табл. 1 и 2, подготовленных Имперским институтом (см. стр. 22 и 26).

Запасы

В прошлом было сделано больше попыток оценить запасы цинковых руд в мировом масштабе, чем запасы свинцовых руд. Инголс (1931) оценивал запасы всех категорий 17 лет тому назад в 27 000 000 *т* металлического цинка. Запасы, составляющие основу цинковой индустрии Германии, были оценены в 1932 г. Крушем в 7 400 000 *т* руды. В 1940 г. Ши (W. P. Shea), основываясь как будто на авторитетных источниках, опубликовал подсчет, в котором мировые запасы цинка оценивались в 43 000 000 *т* металла. В последнее время (1947) Ши опубликовал пересмотренный подсчет, основанный на новейшей информации вплоть до 1944—1946 гг. и охватывающий медь, свинец и цинк (без данных по США). В этом подсчете он дает суммарные цифры для свинца и цинка, соответственно равные 28 000 000 и 43 000 000 *т*. К этим данным следует добавить запасы в Соединенных Штатах, которые, согласно последним данным (U. S. Bureau of Mines and Geological Survey, 1948, pp. 126, 210), составляют около 7 000 000 *т* свинца и около 20 000 000 *т* цинка. Эти цифры отвечают сумме запасов всех категорий в недрах.

Следует иметь в виду, что если по некоторым объектам имеются достаточные данные для точного, хотя бы частичного, подсчета запасов, основывающиеся на горных работах и скважинах, то по многим другим месторождениям неправильная форма месторождения или другие факторы делают такие подсчеты невозможными. Бо́льшая часть отмеченных выше подсчитанных запасов падает на возможные и предполагаемые категории и только небольшая часть, меньше чем одна треть, может рассматриваться как доказанная или вероятная (измеренная, либо выявленная).

Дополнительная трудность в оценке мировых запасов заключается в отсутствии опубликованных или доступных сведений. В практике крупных рудных компаний Британского содружества и империи в общем принято публиковать подсчеты достоверных запасов. Подобные сведения могут быть получены для ограниченного числа небританских рудников. Однако эти сведения недоступны в отношении большинства рудников США, где они не сообщаются, отчасти по причине жестокой конкуренции в промышленности. Хотя от Горного бюро и Геологической службы США были получены цифры для вышеупомянутого общего

подсчета, невозможно получить точные цифры по отдельным рудникам, округам или даже обширным районам.

В табл. 3 на стр. 29 дана сводка наиболее новых данных по запасам и содержаниям руд в главнейших свинцовых и цинковых рудниках мира. В ней используются опубликованные данные и сведения, полученные от рудных компаний. Авторы многих статей обзора дали ценные новые цифры запасов. Здесь использованы и цифры, опубликованные Ши. Запасы представлены в тысячах тонн металла. Причем в тех случаях, когда было известно, какую долю в процентах от общего запаса составляют достоверные (подсчитанные) запасы, соответствующая цифра напечатана в таблице курсивом сразу ниже данных суммарного запаса.

В табл. 3 я попытался сопоставить запасы и текущую продукцию [1] с основными данными по геологии и минералогии для каждого рудника или округа, надеясь, что такая компиляция может с пользой служить в качестве основания для дискуссии в секции F [2]. Источники, послужившие для геологической информации, перечислены в библиографии, которая следует за таблицей; за малыми исключениями, цитируются только те работы, которые вышли в свет после публикации Имперского института минеральной промышленности Британской империи и зарубежных стран (Цинк, 1930, Свинец, 1933), поскольку эти публикации включают обширные списки более ранней литературы.

Компиляция выявляет многие серьезные пробелы в наших знаниях не только по запасам, но и по геологии свинцово-цинковых месторождений. Многие из этих пробелов восполняются статьями сборника, но многие еще остаются не восполненными.

Несмотря на очень важное положение Мексики по добыче свинца и цинка, опубликованных описаний для большей части месторождений не имеется или они являются неполноценными. Настоящее (второе) издание обзора тем не менее включает ценную общую статью Гонсалеса Рейна (Gonzalez Reyna) по свинцовым и цинковым месторождениям Мексики.

Недостаточна информация по месторождениям Южной Америки, но по одной из важных групп месторождений, которые эксплоатируются медной корпорацией Серро де Паско в Перу, она восполнена материалами, представленными геологами этой компании.

Табл. 3, без сомнения, содержит ошибки в обзоре, за которые я несу ответственность; только мелкие детали были исправлены в настоящем издании.

[1] Статистика производства, данная в этой таблице, насколько возможно относится к 1945 г.; в эту таблицу включены округи, дававшие свыше 5000 *т* свинца, цинка или свинцово-цинковых концентратов.

[2] Секция F Международного геологического конгресса. (*Прим. ред.*)

Классификация месторождений свинца и цинка

За единственным исключением окисно-силикатных цинковых месторождений Франклин Фёрнес, Нью-Джерси, первичными минералами цинка являются сульфиды; в то же время единственным важным первичным свинцовым минералом является галенит. Геологические данные свидетельствуют, что промышленные месторождения сульфидов были образованы в земной коре на различных уровнях — от самых глубинных, которые могут наблюдаться, вплоть до уровня грунтовых вод. За исключением специфических восстановительных условий, мало данных, чтобы сульфиды могли образовываться выше уровня грунтовых вод, и мало данных, чтобы сульфиды свинца и цинка могли возникнуть близ уровня грунтовых вод, где образуются вторичные сульфиды меди.

Большинство исследователей теперь рассматривают свинцово-цинковые месторождения, за исключением немногих месторождений, как образования из растворов глубинного происхождения. Чтобы подойти к генетической классификации, должны быть приняты во внимание, согласно Ниггли (1941), следующие факторы: 1) температура в течение главного периода минерализации, 2) место отделения рудоносных растворов (плутонические, субвулканические, вулканические условия), 3) физико-химическое состояние растворов (ортомагматические, пневматолитовые, гидротермальные растворы и т. д.), 4) место отложения рудных минералов как в отношении расстояния от источника растворов (интрамагматические, перимагматические, апомагматические, телемагматические), так и в отношении расстояния от земной поверхности (субаэральные, субакватические, эпикрустальные, абиссальные). По наиболее современной схеме классификации Ниггли, свинцово-цинковые месторождения могут быть отнесены к пяти группам. Каждая группа может быть подразделена с учетом комбинации вышеперечисленных факторов следующим образом:

А. Высокотемпературные (выше 350°), плутонические, пневматолитические до ортомагматических, интрамагматические, гипабиссальные.

Б. Высокотемпературные, плутонические, перимагматические, гипабиссальные («контактово-пневматолитовые»).

В. Среднетемпературные, плутонические, гидротермальные, перимагматические, гипабиссальные.

Г. Низкотемпературные до среднетемпературных, субвулканические, гипотермальные от крипто- до апомагматических, от эпикрустальных до гипабиссальных.

Д. Низкотемпературные (ниже 200°), плутонические, гидротермальные, от теле- до криптомагматических, от эпикрустальных до гипабиссальных.

Настоящий сборник построен на основе классификации Линдгрена по «зонам глубинности», первоначально опубликованной в 1913 г. и получившей затем широкое одобрение, особенно после поправок, которые внес Грейтон, когда месторождения типа Миссисипи и Верхней Силезии были причислены к гидротермальной группе. Схема из пяти групп, основанная на классификации Линдгрена — Грейтона, показывает близкое сходство со схемой из 5 групп Ниггли, если не касаться различий во взглядах на пневматолиз, вулканические ассоциации и различия в употреблении таких терминов, как «лептотермальные» и «телетермальные», которые существуют между геологами американской школы и школы Шнейдерхёна — Ниггли.

Представляется, что в случае свинцово-цинковых месторождений было бы полезно различать гипотермальные месторождения, образованные на большой глубине среди метаморфических пород, измененных при региональном метаморфизме, и пирометасоматические месторождения, связанные с магмой, интрудировавшей в зоны, более близкие к поверхности. Многие из месторождений последнего типа хорошо представлены в настоящем сборнике. Таковы месторождения Бингэм, Юта и Трепча, Югославия, показывающие переходы от пирометасоматических силикатов к неметаморфизованным породам, где имело место отложение сульфидов при мезотермальных или даже лептотермальных условиях — такие месторождения выделены в особый класс (пирометасоматически-мезотермальные). Следует отметить, что эпитермальный класс в схеме Линдгрена — ближайший эквивалент «экструзивно-магматическому ряду» — в классификации Ниггли (1925) не включает значительных концентраций свинца и цинка, за исключением, возможно, некоторых японских месторождений; представляется вероятным, что в некоторых случаях лептотермальные месторождения во внешних краевых и верхних зонах переходят в телетермальные.

I. Гипотермальные месторождения в областях регионального метаморфизма. Типичные свинцово-цинковые месторождения глубинного происхождения представлены линзами массивных сульфидов, иногда очень крупными, которые замещают интенсивно смятые метаморфические породы. Структура окружающих пород свидетельствует скорее о «течении», чем о трещинах, но, как будет отмечено ниже, эта особенность не обязательно относится к отложениям самих сульфидов. Рассеянные руды, развивающиеся по периферии линз, также служат объектом разработки. Характерной чертой месторождений подобного типа являются пегматитовые инъекции, сопровождаемые иногда гранитизацией (см. Брокен Хилл, стр. 295—306). Вмещающие породы обнаруживают высокотемпературный метаморфизм, и некоторые из них (силлиманито-

гранатовые гнейсы Брокен Хилла) принадлежат к катазоне Грубенмана — Бекке, в то время как ассоциирующие с ними изверженные породы, несомненно, возникли путем палингенезиса.

Минералы вмещающих пород включают силлиманит, гранат, полевой шпат, слюду (Брокен Хилл); кордиерит, роговую обманку, биотит, шпинель, кианит, апатит (Квебек); диопсид, форстерит, волластонит, антофиллит, куммингтонит, тремолит, гранат, везувиан (Центральная Швеция). В противоположность этим ассоциациям водные силикаты — такие, как хлорит, хлоритоид, серицит и тальк, характерные для эпизоны Грубенмана — Бекке, — связаны непосредственно с сульфидами. Отсюда можно заключить, что рудные месторождения возникли при условиях значительно более низкой температуры или низкого давления по сравнению с теми условиями, какие имели место при метаморфизме вмещающих пород. Это заключение подтверждает и отношение руды к разломам, трещинам или дайкам. Сосуществование кварца и карбоната в месторождениях также свидетельствует о температуре более низкой, чем в процессе регионального метаморфизма. Но все же месторождения этого класса являются наиболее глубинными из числа известных. Достаточным доказательством этому является уже тот факт, что минерализующие флюиды были в громадных масштабах способны замещать предварительно метаморфизованные породы [1]. Пегматитовые инъекции сопровождали образование многих месторождений этого типа или предшествовали ему. Что же касается до источника самих металлов, то предположение об извлечении их из вмещающих пород, подвергшихся палингенному метасоматозу на еще больших глубинах (Guimaraes, 1947), остается пока не доказанным, и нет прямых доказательств тому, что эти месторождения находятся ближе к уровню палингенезиса, чем другие.

Все главнейшие примеры месторождений этого типа представлены в настоящем сборнике. К ним относятся Брокен Хилл в Новом Южном Уэльсе (стр. 295), пиритово-медные месторождения Манитобы (стр. 74) и северо-западного Квебека, а также месторождения Фалун, Оммеберг и Болиден в Швеции (стр. 573). Все эти месторождения залегают на площади древних щитов среди докембрийских пород.

Разновидность этого же типа представляет крупное месторождение Сулливан в Британской Колумбии, в составе которого

[1] Это доказательство нельзя признать убедительным. Как известно, минералы претерпевают наибольшие изменения именно в условиях наиболее отличных от тех, что имели место в процессе их образования. Следовательно, интенсивное изменение минералов метаморфического комплекса в процессе рудообразования как раз является доказательством относительно небольшой глубины рудного процесса. (*Прим. ред.*)

существенную роль играет турмалин и в качестве попутного продукта извлекается немного олова.

II. Пирометасоматически-мезотермальные месторождения. В областях более молодых горных сооружений, особенно в Кордильерах и в Восточно-Азиатской цепи островов, а также в некотором количестве в Альпах и в герцинидах, встречаются месторождения, в которых свинцово-цинковые руды ассоциируют с пирометасоматическими силикатами. Эти месторождения связаны в большинстве случаев с интрузивными штоками главным образом кислого и промежуточного типа. Штоки показывают столь резкие интрузивные контакты, что их происхождение трудно объяснить иначе, чем *нормальной магматической интрузией*. Месторождения этого класса в самом деле являются лучшим доказательством связи гидротермальных месторождений с магмой. Контактово-метаморфический эффект, выражающийся в образовании силикатов кальция, магния и железа, распространяется концентрически вокруг штоков, с которыми месторождения, несомненно, генетически связаны, хотя присутствие водных силикатов и сосуществование кварца и кальцита говорят о том, что при рудоотложении температура была значительно более низкой, чем при образовании собственно пирометасоматических минералов. Келлей (1937) и Като (1934) на основании изучения месторождений Калифорнии и Японии установили очевидность позднего низкотемпературного образования свинцово-цинковых руд, но ни тот ни другой не сомневался относительно происхождения минерализующих растворов из магмы интрузивного штока.

В сборнике описаны три примера месторождений этого типа: Бингэм (Юта), Центральный округ (Нью-Мексико) и Трепча (Югославия).

Типичные месторождения этого типа представляют плитообразные или неправильные метасоматические залежи в известняках, подчиненные напластованию или мелким структурам. К этой же группе могут быть отнесены многие мексиканские плащеобразные и трубчатые тела, несущие в их глубинных частях известковые силикаты.

III. Глубинные мезотермальные жилы и метасоматические тела. Типичные месторождения этого класса представлены глубинными жилами в неметаморфизованных осадочных породах и в лавах или в крупных интрузивных массивах, а также метасоматическими месторождениями в сланцах и лавах. В этих месторождениях не встречаются безводные силикаты; характерным изменением пород является хлоритизация, серицитизация или карбонатизация. Жилы нередко содержат крупные рудные

столбы, протягивающиеся на значительную глубину. Некоторые из рудных тел месторождения Кёр д'Ален прослежены уже по вертикали более чем на 1100 *м* (стр. 145).

К этой группе относятся и месторождения Бочанс в Ньюфаундленде, а также Маунт Айза в Квинсленде; эти месторождения представляют примеры метасоматических рудных тел в сланцах и лавах. К этому же классу могут быть отнесены замечательные метасоматические тела месторождения Бэдвин, Бирма (Clegg, 1940).

В месторождениях описываемого типа иногда встречается пирротин, изредка сопровождаемый арсенопиритом и магнетитом. Эти минералы указывают на переход к I классу. В описываемых месторождениях в значительных количествах встречаются карбонаты, и среди них особенно характерны карбонаты железа и марганца.

Прямые доказательства генетической связи оруденения с интрузиями большей частью отсутствуют, хотя описываемые месторождения нередко встречаются в районах развития крупных интрузий, которые предположительно являются материнскими.

IV. Лептотермальные и метасоматические месторождения. Богатые друзами руды, характерные для лептотермальной зоны, обычно резко отличны от плотных, массивных сульфидных руд глубинных мезотермальных и метасоматических месторождений. Среди этой группы встречаются жилы, обладающие обычно незначительным вертикальным протяжением, и метасоматические рудные тела в известняках. Глинистые осадки и измененные лавы редко подвергаются минерализации, но они могут служить полупроницаемыми барьерами, концентрирующими поток растворов в восприимчивых боковых породах, или, может быть, они действуют, по предположению Мэкея, как ультрафильтры для коллоидов (1946). Метасоматические месторождения встречаются главным образом среди известняков, в других же вмещающих породах изменения обычно незначительны.

Связь с изверженными породами для месторождений этого класса неясна. Иногда лептотермальные месторождения располагаются во внешних зонах ореолов, концентрически окружающих интрузивные штоки; однако чаще единственными интрузивными образованиями в районах развития лептотермальных месторождений являются дайки и силли.

Типичным примером месторождений этого типа является Касапалка, Перу (Грейтон, 1933). Из числа месторождений, описанных в сборнике, к этому классу относятся Пиоче, Невада (стр. 176), и Тауз в Марокко (стр. 352), а также, повидимому, богатые флюоритом жилы и метасоматические рудные тела неясного генезиса в Южном Кентукки, Иллинойс. Возможно, что

и месторождения Сардинии скорее принадлежат к этому классу, чем к классу III.

V. Телетермальные метасоматические месторождения и вкрапленные руды. Эта последняя группа включает вкрапленные руды в известняках и песчаниках и массивные метасоматические руды в известняках в районах, далеко удаленных от проявления магматической деятельности. В ней можно различать три главных подтипа: а) вкрапленные и массивные метасоматические руды, связанные с мелкими нарушениями, небольшими флексурами или трещинами, в известняках и доломитах в районах пологопадающих или слабоскладчатых осадков; примером этого подтипа могут служить месторождения долины Миссисипи и Верхнесилезские месторождения (доставляющие главную часть цинка, добываемого в Европе); б) вкрапленные и массивные сульфидные руды среди известняков и доломитов в районах проявления интенсивной складчатости и надвигов. Примерами этого типа являются рудное поле Восточного Теннесси (стр. 112—123), месторождения Туиссит и Бу Бекер (стр. 369), а также многочисленные месторождения Каринтских Альп (Райбл, Блейберг, Рабенштейн, Санкт-Вейт) и Реосин в Испании); в) вкрапленные руды в песчаниках. К этому типу относятся месторождения Мехерниха, Германия (стр. 497), и, возможно, месторождения Лайсвалл (стр. 569) в районе проявления надвигов в северной Швеции. Что же касается месторождений в известняках и доломитах, то, как подчеркнул Бере (C. H. Behre, 1939), различные структурные типы их связаны переходами.

Происхождение месторождений этого класса до сих пор является предметом дискуссий, хотя следует отметить, что за последние двадцать лет гипотеза гидротермального их образования приобрела много сторонников. Совершенно очевидно, что эти месторождения образовались при низкой температуре, и возможно, что полости в известковых породах, выполненные позднее сульфидами, образовались благодаря растворяющему действию обычных грунтовых вод. Температура же образования руд, как показал Ньюхауз, используя метод пузырьков Сорби, была значительно выше температуры нормальных грунтовых вод. Однако некоторые исследователи, как, например, Штаппенбек (1940) в Верхней Силезии, еще до сих пор связывают образование этих месторождений с артезианскими водами, а не с растворами гидротермального происхождения. В такой же мере спорным является и происхождение месторождений в песчаниках. Так, для Шнейдерхёна (1928) месторождения Коммерн и Мехерних представлялись осадочными, тогда как Беренд (стр. 514) выдвигает доказательства гидротермального происхождения этих месторождений. Месторождение Лайсвалл в песчаниках, согласно Грипу (стр. 568), могло возникнуть из сингенетических минералов.

Неклассифицированные месторождения. Почти все известные по опубликованным материалам месторождения, перечисленные в табл. 3, представляется возможным включить в одну из пяти предложенных групп; исключение представляет своеобразное пирито-сфалерито-баритовое месторождение Мегген в Вестфалии. Это месторождение, в котором нередко встречаются сингенетические образования сфалерита, пирита, барита в сидеритовых конкрециях среди песчаников, возможно, имеет, как это утверждает Фребольд (1927), осадочное происхождение.

Относительное промышленное значение выделенных типов

Попытки выяснить относительное практическое значение различных типов свинцовых и цинковых месторождений производились и раньше, например Шульцем (1931) и Блонделем (1934). Последний произвел интересный подсчет продукции месторождений различного возраста — археидов, палеидов и мезоидов. Шнейдерхён подсчитал, что 21% мировой продукции свинца и 51% мировой продукции цинка были в 1913 г. получены из месторождений типа Миссисипи — Верхняя Силезия.

Сведения по геологии и запасам месторождений, приводимые в табл. 3, далеко не достаточны, чтобы все месторождения распределить между пятью намеченными классами месторождений. Тем не менее оказалось возможным произвести примерный подсчет относительного значения отдельных групп, используя данные, опубликованные в Минеральных ресурсах Соединенных Штатов, и более ранние подсчеты Инголса (1931) и Ши (1940). Приводимые цифры дают некоторое указание на порядок величин месторождений различных классов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ И ЗАПАСОВ СВИНЦА И ЦИНКА ПО МЕСТОРОЖДЕНИЯМ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

Тип	Свинец, тыс. *т* металла		Цинк, тыс. *т* металла		
	продукция	запасы	продукция	запасы	
V. Телетермальный . .	300	4 800	340	11 900	2,5
IV. Лептотермальный .	280	2 700	360	7 100	2,6
III. Мезотермальный . .	260	6 800	360	10 100	1,5
II. Пирометасоматически-мезотермальный	240	3 900	140	6 400	1,6
I. Гипотермальный . .	370	9 800	555	16 500	1,6
	1 450	28 000	1 755	52 000	1,8

Эти цифры отражают то важное значение, которое приобретают гипотермальные свинцово-цинково-серебряные месторождения и цинково-медно-золотые месторождения. Расширение мировой продукции может быть достигнуто за счет месторождений, залегающих в докембрийских щитах Канады, Фенноскандии, Австралии и Африки и получивших значение только в последнем столетии. Представляется, что эти площади являются наиболее благоприятными для открытия крупных запасов; повидимому, это наилучшая возможность, которая у нас осталась.

Заключение

1. Мировая продукция свинца и цинка ежегодно быстро возрастала в течение XX столетия, если не считать двух перерывов, связанных с периодами экономических депрессий. Свинцовая продукция достигла наибольшей величины — 1 799 020 *т* металла в руде — в 1938 г. Наибольшая добыча цинка — 2 204 560 *т* — имела место в 1942 г. Неясно, в какой мере современные рудники, запасы руды и пропускная способность обогатительных фабрик могут обеспечить расширение добычи.

2. За очень небольшим исключением, руды свинца и цинка попадают в один из следующих пяти классов месторождений, порожденных, согласно большинству исследователей, гидротермальными растворами: гипотермальный, пирометасоматический, переходящий в мезотермальный, мезотермальный, лептотермальный и телетермальный.

3. По многим важным районам имеются опубликованные данные о геологическом строении и запасах месторождений, однако имеется и много пробелов в наших знаниях; некоторые из них восполнены в статьях, опубликованных в настоящем сборнике, другие же еще остались.

4. Порядок величин добычи и запасов месторождений пяти вышеупомянутых классов, выведенный на основании опубликованных данных, показывает, что в настоящее время главную роль играют гипотермальные месторождения свинца и цинка; отсюда следует, что наиболее благонадежными для поисков и открытия новых крупных ресурсов являются области докембрийских щитов.

5. Мировые запасы всех категорий, повидимому, достаточны, чтобы поддержать на уровне 1947 г. добычу свинца по меньшей мере в течение 23 лет и добычу цинка в течение по меньшей мере 36 лет. При этом предполагается, что 25% потерь при добыче, обогащении и плавке могут быть покрыты запасами, не перечисленными в табл. 3.

6. Цифры приводимых запасов цинка больше, а не меньше соответствующих цифр, подсчитанных 17 лет тому назад. Для свинца не было в прошлом таких подсчетов, которые можно было бы сравнивать с современными.



Фиг. 2. Географическое распределение главных свинцовых и цинковых рудников мира.

Номера соответствуют номерам табл. 3. Преобладающий генетический тип первичного месторождения в каждом районе обозначен символом (насколько это можно было сделать по опубликованным данным).

Типы месторождений: V—телетермальные; IV—лептотермальные; III—мезотермальные; II—пирометасоматические; I—гипотермальные.

МИРОВАЯ ПРОДУКЦИЯ[1] СВИ

Производящая страна	1936	1937	1938	1939	1940
Великобритания . .	30 981	26 817	30 220	16 815	13 8
Нигерия	843	563	301	—	—
Северная Родезия . .	7 193	3 952	(*н*) 301	(*н*) 163	(*н*) 2
Южная Родезия . .	—	24	41	118	
Юго-Западная Африка (д)	—	10 262	17 983	21 841	3 2
Танганьика	—	32,5	—	—	
Южно-Африканский союз	6	104	127	58	98,5
Канада (б)	173 800	186 870	190 013	176 243	214 0
Ньюфаундленд . . .	31 432	29 238	31 715	27 493	29 6
Бирма	92 354	92 659	89 002	(г) 89 704	(г) 91 4
Малайские Федеративные Штаты . .	2	—	—	—	—
Гонконг	(а)	(а)	(а)	3 411	(а)
Индия	—	—	—	—	—
Австралия	227 328	249 981	278 774	284 483	292 3
Австрия	5 939	8 689	(к)	4 267	3 0
Болгария	61	163	254	437	6
Чехословакия	3 943	3 902	(з) 2 946	(з) 2 946	(з) 3 0
Финляндия	373	247	86	(*а*)	(*а*)
Франция	3 170	4 640	4 219	5 410	2 4
Германия	68 604	78 894	95 504	94 488	101 6
Греция	3 520	4 615	4 174	(а)	(а)
Италия	40 418	35 357	40 640	43 688	45 7
Норвегия	442	357	146	—	—

[1] Без данных по СССР. *(Прим. ред.)*

[2] Составлена Имперским институтом в добавление к статистическим данным за 1935—1947 г опубликованным в Statistical Summary of the Min. Industrie, Британской империи и зарубежн странах.

[3] Значения букв в таблицах 1 и 2:

а—недостоверные сведения; б—запасы, подсчитанные как промышленные; в—запасы, п считанные компаниями; г—подсчитанные запасы; д—год, оканчивающийся 31/III следующего го

Таблица 1[3]

(В ТОННАХ МЕТАЛЛА)[2]

1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947
8 095	5 482	4 234	4 032	2 912	2 807	3 219
—	1	—	—	—	—	72
(*и*) 378	(и) 1 117	(и) 1 265	(и) 1 050	(и) 1 747	(и) 8 371	(и) 15 901
—	3	3	301	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	15	—	7	—	—	—
191	22	181,9	131	186	152	134
208 719	232 293	201 413	138 150	157 388	160 562	146 651
30 081	25 406	32 939	29 660	25 319	25 213	21 120
(е) 83 995	(ж) 56 040	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
(а)	(а)	(а)	(а)	—	—	—
10	610	2	10	20	204	(а)
292 067	267 394	209 678	192 517	167 377	187 263	199 768
5 080	4 673	4 673	4 572	864	418	1 645
4 368	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
(з) 2 840	(з) 2 340	(з) 2 336	(з) 2 134	(*а*)	(а)	(а)
37	139	478	233	88	155	187
3 875	5 713	5 534	4 200	4 851	8 296	7 589
99 560	104 640	99 568	101 600	(г,л) 15 240	(л) 25 526	(л) 14 753
691	2 296	1 148	610	712	610	(*а*)
44 704	32 510	19 812	4 064	2 337	13 310	20 320
—	31	114	123	10	26	141

е—год, оканчивающийся 30/VI текущего года; ж—9 месяцев истекло 31/III 1942 г.; з—Американское бюро статистики металлов; и—выплавка; к—вместе с Германией; л—только Британская зона; м—Горное бюро США; н—промышленные запасы; о—неполные сведения.

Продолжение табл. 1

Производящая страна	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947
Польша	7 112	10 160	10 160	(а) 5	(к)	(к)	(к)	(к)	(а)	—	—	—
Португалия	3	1 310(?)	2			8	15	26	250	264	375	376
Румыния	7 058	8 438	6 394	5 664	(г) 3 048	(г) 10	(г) 20	(г) 305	(г) 305	—	—	—
Испания	(г) 45 720	(г) 30 480	(и) 31 808	(и) 26 990	(и) 45 989	(и) 43 000	(и) 38 490	(и) 34 079	(и) 30 970	(и) 27 947	(и) 29 662	(и) 32 093
Швеция	9 670	9 270	8 599	8 667	10 023	10 030	9 494	11 380	16 150	20 096	21 178	20 857
Югославия	66 040	71 120	84 328	69 088	69 088	(г) 30 480	(г) 30 480	(г) 30 480	(г) 30 480	(г) 20 320	(г) 40 640	(г) 50 800
Алжир	2 716	4 479	5 277	3 390	2 359	1 170	701	391	1 081	569	874	1 138
Бельгийское Конго	—	4 844	4 625	5 926	1 553	387	1 178	484	634	—	—	669
Французская экваториальная Африка	—	122	2 337	3 657	4 572	4 369	2 743	3 454	2 845	3 075	2 844	2 641
Марокко (французск.)	7 563	16 120	20 320	25 954	23 148	10 590	6 739	6 915	10 005	11 108	11 036	21 397
Марокко (испанск.)	(а)	195	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	223	203	56
Тунис	10 280	13 065	18 707	18 164	12 279	12 680	7 752	2 365	6 150	6 402	8 654	12 419
Гватемала (г)	40,6	51	40	51	40	(и) 94	(и) 119	(и) 114	(и) 136	(и) 115	(и) 131	110
Мексика (б)	215 714	218 123	282 356	219 496	196 244	155 252	197 009	218 115	185 273	205 305	140 137	223 125
США (б)	337 655	421 723	335 395	375 538	414 920	418 580	450 160	411 220	378 152	354 539	304 323	348 543
Аргентина	6 849	18 938	24 713	31 332	29 997	26 516	26 738	17 703	(з) 18 999	(з) 18 290	(з) 18 186	(з) 20 828
Боливия (экспорт)	14 517	18 287	13 167	14 124	11 663	15 652	12 481	11 386	9 046	9 508	8 433	11 309
Бразилия	96,5	231	578	3 678	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
Чили	190	648	922	156	2	28	—	—	—	54	—	3 364
Эквадор	—	—	—	1	250	142	—	152	406	158	372	(а)
Перу	30 197	42 036	58 041	46 281	50 436	50 045	44 879	47 808	52 499	53 661	44 516	43 993
Уругвай	—	—	—	7	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
Китай	4 064	2 032	(з) 6 999	(з) 6 000	5 000	1 320	1 219	610	(а)	(а)	(а)	(а)
Французский Индокитай	31	—	—	—	—	110	92	250	30	3	—	—
Япония	8 224	(г) 10 160	12 192	12 192	11 653	16 408	18 322	20 057	16 052	4 659	4 249	5 830
Корея (и)	2 738	5 850	(м) 6 096	(а)	(а)	(о) 10 521	(о) 8 232	18 351	16 229	(а)	(а)	(а)
Маньчжурия	(а)	(а)	(а)	(а)	4 777	5 709	6 256	4 853	(а)	(а)	(а)	(а)
Индонезия	—	—	30	41	30	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
Филиппины	—	15	213	41	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
Саудовская Аравия	(а)	(а)	(а)	4	13	8	10	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
Турция	5 371	7 722	7 214	9 144	813	711	—	—	132	—	—	—
Великобритания	4 317	7 709	11 670	8 482	6 038	5 043	4 005	4 652	8 802	3 619	—	—
Северная Родезия	26 573	19 146	12 698	(и) 12 898	(и) 13 401	(и) 13 761	(и) 13 045	13 923	15 033	15 825	17 849	21 946

МИРОВАЯ ПРОДУКЦИ

Производящая страна	1936	1937	1938	1939	1940
Юго-Западная Африка (д)	—	—	—	10 655	1 414
Канада (н)	151 122	167 974	173 040	178 949	192 32[illegible]
Ньюфаундленд	64 368	64 147	66 945	59 667	64 69[illegible]
Бирма	62 281	58 928	(с) 56 684	(с) 55 202	(с) 51 96[illegible]
Австралия	175 173	206 711	223 295	221 006	246 61[illegible]
Австрия	3 248	2 967	(н)	2 315	2 242
Бельгия	(в) 2 032	(в) 3 048	(г) 3 048	(г) 3 048	(а)
Болгария	—	66	81	152	304
Чехословакия	1 363	1 950	(г) 2 032	(к)	(к)
Финляндия	1 098	882	395	5 080	7 11[illegible]
Франция	—	905	96	500	1 42[illegible]
Германия	156 503	165 525	220 472	232 664	239 77[illegible]
Греция	3 487	9 932	8 723	(г) 5 080	(а)
Италия	69 732	84 328	89 408	103 632	93 47[illegible]
Норвегия	7 704	8 797	7 707	5 767	3 685
Польша	58 928	69 088	70 104	(а)	(к)
Португалия	4	9	5	—	—
Румыния	8 101	6 283	4 022	3 658	(г) 2 032
Испания (г)	30 480	20 320	38 608	40 640	39 624
Швеция	34 287	36 000	34 568	34 020	29 088
Югославия	52 832	48 768	41 656	28 448	23 368
Алжир	3 152	8 361	4 568	3 979	3 968
Бельгийское Конго	383	3 057	4 139	6 350	10 566
Французская экватор. Африка	—	883	1 219	1 219	1 016
Марокко (французск.)	429	4 999	3 174	2 870	2 390
Тунис	1 087	1 199	369	—	407
Мексика	150 244	154 618	172 210	134 160	114 949
США	522 213	568 200	468 719	529 596	603 312
Аргентина	2 963	16 691	20 828	33 180	12 968
Боливия. (экспорт)	13 553	11 529	10 706	7 769	12 196
Перу	11 238	18 263	(н) 14 576	(н) 21 210	(н) 17 674
Китай (г)	4 572	4 064	1 016	254	(а)
Французский Индокитай	5 221	4 958	5 161	5 866	6 909
Япония	18 288	20 320	(в) 22 352	(а)	43 770
Саудовская Аравия	—	—	—	4	13
Турция	10 363	10 668	13 614	10 566	—

[1] Без данных по СССР. (*Прим. ред.*)
[2] Обозначения те же, что в табл. 1.

Таблица 2[2]

ЦИНКА (В ТОННАХ МЕТАЛЛА)

1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947
—	—	—	—	—	—	—
232 402	263 189	277 021	249 837	234 593	213 460	188 562
63 248	50 983	60 235	53 975	51 407	49 431	40 113
(с) 51 416	(ж) 33 046	—	—	—	—	—
252 826	225 383	185 766	177 148	152 718	174 660	185 172
4 651	4 907	4 726	4 596	1 074	974	1 473
(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
2 337	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
(к)	(к)	(к)	(к)	(а)	(а)	(а)
2 886	3 033	2 748	2 213	1 385	1 910	1 931
3 054	3 216	2 597	2 535	3 345	4 846	5 982
239 776	234 696	265 176	254 000	(г, д) 24 384	(л) 15 155	(л) 22 316
(а)	(а)	(а)	(а)	—	—	(а)
71 120	75 184	48 768	21 234	9 855	25 908	54 559
4 436	4 834	4 887	5 064	1 834	249	5 637
(к)	(к)	(к)	(а)	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
(г) 2 032	(г) 10	(г) 10	(а)	(а)	(а)	(а)
37 592	35 560	36 576	30 480	26 416	33 528	35 560
33 066	33 128	31 412	32 907	33 598	37 820	35 224
(г) 16 256	(г) 16 256	(г) 16 256	(г) 16 256	(г) 10 160	(г) 25 400	(г) 30 480
1 987	3 260	2 980	1 011	1 906	3 860	5 852
14 560	8 324	20 435	15 514	23 692	35 541	45 187
965	1 118	711	508	622	—	—
765	803	522	1 168	980	1 686	1 745
630	660	148	742	767	1 553	2 571
154 989	189 864	197 191	218 955	209 930	139 528	195 805
699 882	696 709	675 924	651 911	557 311	521 460	578 402
38 143	29 706	20 445	2 422	(з) 13 133	(з) 14 724	(з) 16 230
6 067	10 909	21 073	16 318	20 974	19 187	14 381
(н) 22 809	(н) 23 506	(н) 33 054	(н) 57 106	(н) 61 151	(н) 53 407	55 880
(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
7 620	6 160	4 907	1 405	380	—	—
72 660	81 129	90 752	74 205	22 682	21 047	29 533
8	10	(а)	(а)	(а)	(а)	(а)
—	—	—	—	—	—	—

ОБОБЩЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ СВИНЦОВЫХ И ЦИНКОВЫХ МЕСТО

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
	Канада			
1[1]	Сулливан	Позднедокембрийские аргиллиты и алевролиты	Дайки и силли габбро; гранофиры	Галенит, сфалерит, пирротин, пирит, кварц, хлорит, биотит, мусковит, тремолит, клиноцоизит, *титанит, турмалин*, гранат, альбит
2	Ривс-Мак Дональд	Позднедокембрийские или кембрийские известняки	Кварцевые монцониты	Сфалерит, галенит, пирит, кварц, доломит (окисленные руды свинца и цинка)
3	Слокэн	Мезозойские аргиллиты и известняки	Граниты, гранодиориты	Сфалерит, галенит, пирит, сидерит, кварц, кальцит
4	Монарк	Кембрийские доломиты	Нет	Сфалерит, галенит, пирит, доломит
5	Твин „Джи"	Кремнистые туфы, графитовые сланцы, андезиты	Риолит-порфиры, диориты	Халькопирит, сфалерит, пирит (галенит), барит, кварц
6[1]	Флин Флон	Архейские андезиты и пирокласты	Кварцевые порфиры	Магнетит, пирит, арсенопирит, кобальтин, пирротин, сфалерит, халькопирит, кубанит, галенит, теллуриды, тетраэдрит, энаргит
7[1]	Шеррит Гордон	Докембрийские гнейсифицированные кварциты и роговообманковые гнейсы	Пегматиты	Пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, кварц, роговая обманка, полевой шпат, биотит, тремолит, гранат, хлорит, серицит

[1] Месторождения, описанные в настоящем сборнике.
[2] Буквы обозначают: а — рудники и районы в США, заключающие крупнейшие (промышленные в современных условиях) запасы свыше 90 000 *т* металла; б — рудники и районы в США с умеренными промышленными запасами, менее 90 000 *т* металла.

Таблица 3

РОЖДЕНИЙ МИРА СО СТАТИСТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ О ЗАПАСАХ И ДОБЫЧЕ

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы[2], тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Крупные линзы, замещающие своды и крылья антиклиналей; 800	3454	2743	8,3	6,5		80,9		173	137
Замещения в известняке	22	137	1,0	6,0		9,3		Подготавливается	
Замещения известняков вдоль трещин		15[4]		10,0		6,2			7
Замещения доломитовой брекчии			7,8	5,8		62,2		1	9
Полосчатые тела в рассланцованных туфах и сланцах		8		8,7	1,9	121,3	4,35		
Линзы замещения вдоль крыльев складок волочения		1016 (*100*)[3]		4,2	3,0	39,2	2,79		83
Линзы замещения в ладьеобразных складках		27 (*100*)		2,1	2,6	19,0	0,62		10

[3] Курсивом напечатаны цифры достоверных запасов в процентах от общего запаса.
[4] Данные, помещенные в работе W. Shea, Foreign ore reserves of Copper, Lead and Zinc, *Eng. Min. Jour.*

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
8	Северо-западный Квебек			
	Гольден Манит Мак Дональд Норметалл Норзон-Роуин Квемонт Восточный Сулливан Вэйт-Амулет	Докембрийские (архейские) альбитофиролиты, андезиты, брекчии; интрузивные кварцевые диабазы, андезиты, эпидозиты, риолиты, диориты, гранодиориты, аляскиты	Докембрийские (протерозойские?) кварцевые диабазы	Апатит (?), роговая обманка, биотит, кордиерит, эпидот, оттрелит (?), кианит, шпинель, анкерит, кварц, кальцит, магнетит, халькопирит, пирит, пирротин, сфалерит, тетраэдрит, галенит, теллуриды (золото, серебряные минералы, молибденит, барит)
9	Нью-Кэлюмет	Докембрийские кристаллические известняки, амфиболиты, биотитовые гнейсы	Пегматиты	Пирротин, галенит, сфалерит, пирит, тремолит, полевой шпат, хлорит, серицит, гранат, лейкоксен, кальцит, (золото)
	Ньюфаундленд			
10	Бочанс	Пирокластические породы, андезиты, аркозы	Кварцевые порфиры (граниты)	Пирит, барит, сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, теллуриды, кварц, кальцит
	США			
11[1]	Юго-восточный Миссури	Кембрийские доломиты	Неизвестны	Галенит, кальцит, марказит, пирит, кварц, доломит, диккит (халькопирит, сфалерит, зигенит)
12[1]	Три-Стэйт	Карбоновые известняки и роговики; местами песчаники, сланцы	Не доказаны (граниты на глубине?)	Сфалерит, галенит, доломит, кальцит, джаспероид (марказит, халькопирит, пирит, энаргит, барит)

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Массивные сульфидные линзы и вкрапленность, образованные замещением главным образом риолитов и вулканической брекчии; связаны со сбросами и возможно с дайками кварцевых диабазов	2	85[4] (*10*)	0,5	7,5		93,3	1,55		13
		2032[4] (*15*)		5,5	0,6	62,2		Подготавливается	
		109[4] (*82*)		7,1	3,5	124,4			17
			2,0	10,0	0,3			Подготавливается	
		348		3,2	1,6	31,1		Эксплоатируется	
		91[4]		2,0	2,5			То же	
		91 (*100*)		4,3	6,0	46,6	0,93		17
Широкие линзы замещения	26	83 (*1000*)	2,7	9,2		169,49	0,93	4	16
Тела замещения в ядре антиклинали среди мягких туфов, заключенных между плотными аркозами	545[4]	1100[4]	8,5	17,4	1,4	96,41		25	45
Вкрапленность и массивные руды замещения в доломитах; жилы	а	а	2,7 до 3,0					157	1
Пологие тела замещения, связанные с мелкими трещинами	230	1317	0,38	2,18				21	128

Продолжение табл. 3

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис	Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
						Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
13[1]	Верхне-Миссисипские месторождения	Ордовикские известняки и доломиты	Не известны	Сфалерит, галенит, марказит, кальцит (барит)	Пологие тела замещения, выполнения трещин	а	а	0,3	3,3				2	17
14[1]	*Кентукки* — Южный Иллинойс	Карбоновые известняки, песчаники, сланцы	Перидотитовые дайки	Флюорит, кальцит, галенит, сфалерит, пирит (халькопирит, кварц, барит)	Трещины и жилы, пологие тела замещения в известняках	б	а	0,7	1,0				3	4
15[1]	Восточный *Теннесси*	Кембрийские и нижнеордовичские известняки и доломиты	Слюдяные перидотиты	Доломит, пирит, сфалерит, галенит, флюорит, барит, кальцит (кварц)	Замещения доломитизированных известняков вдоль слоев и трещин		а		3,2					31
16	Аустинвил	Кембрийские и нижнеордовичские известняки и доломиты	Не известны	Доломит, пирит, сфалерит, галенит, барит, кальцит	Замещения доломитизированного известняка	б	а	1,5	5,5				4	14
17	Округ Лоуренс, Нью-Йорк	Докембрийские кристаллические известняки и гнейсы	Габбро, сиениты, пегматиты	Кальцит, гранат, диопсид, тремолит, слюда, кварц, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, барит, гипс, тальк, серпентин	Замещения кристаллических известняков в сильно деформированных складках; 400	б	а	0,4	8,0		1,55		1	23
18[1]	Франклин, Фёрнес	Докембрийские кристаллические известняки и гнейсы	Пегматиты	Франклинит, вилемит, цинкит, кальцит, тефроит, гранат, цинк-пироксен и амфибол, шпинель, аксинит, апатит, скаполит, родохрозит, флюорит, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит и др.	Замещения известняков; 700		а		15,0					74
19[1]	Кёр д'Ален, Айдахо	Докембрийские кварциты и аргиллиты	Меловые (?) монцонитовые штоки	Галенит, сфалерит, тетраэдрит, халькопирит, пирит, пирротин, магнетит, арсенопирит, кварц, сидерит, барит (борнит, халькозин, джемсонит)	Жилы в мелких сбросах; 1500	а	а	4,8	4,0	0,1	177,27		59	71

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
20[1]	Бингэм (Юта)	Карбоновые (пенсильванские) известняки	Диоритовые и кварцево-монцонитовые штоки	Галенит, сфалерит, пирит, кварц, кальцит (волластонит, диопсид, гранат, пирротин, борнит, халькозин, энаргит, гематит, ковеллин, киноварь), (золото, серебряные минералы)
21	Бисби, Аризона	Кембрийские, девонские и карбоновые известняки	Гранит-порфировые штоки	Пирит, халькопирит, борнит, галенит, сфалерит, кварц, хлорит, серицит (теннантит, серебряные минералы)
22	Парк Сити, Юта	Карбоновые (пенсильванские) и пермские известняки, кварциты	Диориты и диорит-порфириты	Галенит, тетраэдрит, сфалерит, кварц, пирит (флюорит)
23[1]	Центральный Нью-Мексико	Карбоновые известняки, меловые сланцы и песчаники, кварцево-диоритовые силли	Гранодиориты, кварцевые монцониты	Гранат, эпидот, ильваит, гематит, магнетит, пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит, кварц, родонит, пирит, серпентин, кальцит
24[1]	Пиоче, Невада	Кембрийские кварциты, известняки, доломиты	Диориты и монцонит-порфировые дайки	Галенит, сфалерит, пирит (серебряные минералы, золото)
25	Ред Клифф, Колорадо	Карбоновые (миссисипские) известняки и кварциты	Гранит-порфиры	Сидерит, доломит, пирит, сфалерит

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
Замещения метаморфизованных, мраморизованных и неметаморфизованных известняков вокруг интрузивных штоков; 1000	а	а	12,0 8,9	5,0	0,6 0,3	162,0 152,7	20,21 19,28	21	14
Жилообразные замещения известняков, связанные со сбросами и дайками	а	а	5,2	10,2				8	16
Замещения известняков, связанные со сбросами; жилы	6989 а	20024 а	15,0	11,0		497,6		8	6
Месторождения в контактово-метаморфических ореолах, замещения известняков, жилы вдоль даек	а	1361	0,1 0,1 10,0	17,5 14,0 14,0	1,0 5,0	40,4 311,0		5	33
Жилы в кварцитах, метасоматические тела в графитизированных известняках, жилы в порфировых дайках	а	а	5,4	13,7		172,0	1,24	3	15
Жилообразные тела замещения в известняках и кварцитах близ сланцев или порфиров	б	а	1,5	12,0				1	15

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенез
26	Ледвилл, Колорадо	Карбоновые (миссисипские) известняки и кварциты	Гранитные и монцонит-порфировые жилы	Сидерит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, кварц, джаспероид, (барит (серебряные минералы, золото)
27	Металлайн, Вашингтон	Среднекембрийские известняки	Кварц-монцонитовый батолит	Сфалерит, галенит, пирит, кварц, доломит, кальцит (тетраэдрит, халькопирит, золото)
28	Бьютт, Монтана	Кварцевые монцониты, аплиты	Кварцевые монциониты	Кварц, родохрозит, сфалерит, пирит, галенит (халькопирит, тетраэдрит, тоннантит, халькозин, борнит), хлорит
29	Тинтик, Юта	Известняки, песчаники, сланцы от кембрия до карбона	Монциониты и монцонит-порфиры	Доломит, кварц, барит, галенит, сфалерит (пирит, тетраэдрит, энаргит)
30	Биг Баг, Аризона	Докембрийские сланцы и амфиболиты	Граниты?	Турмалин, кварц, аксинит, арсенопирит, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, барит, (серебряные минералы, золото)
31	Рико, Колорадо	Карбоновые (пенсильванские) гипсы	Монцонитовый шток	Галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, кварц, родохрозит, тетраэдрит (серебряные минералы)
32	Олд Хэт, Аризона	Докембрийские граниты, третичные (?) аркозы, эффузивы		Кварц, гематит, хлорит, пирит, сфалерит, галенит, флюорит, халькопирит, золото, вульфенит, ванадинит, окисленные руды свинца и цинка

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
Замещения известняков, связанные с трещинами и контактами порфиров	б	а	4,0	3,0		124,4		5	6
Замещения известняков вдоль сбросов под экраном сланцев, выполнения пустот, жилы	а	а	2,3	12,1				4	7
Жилы; 1000	а	а	2,2	12,0 до 14,0	0,16	199,0	0,25	3	7
Сложные тела замещения в известняках, смятых в складки и разбитых сбросами	а	а						5	3
Зона замещения в сланцах	б	б	6,0	6,0				2	5
„Плащеобразные" тела в брекчиях, образованных растворением гипса	б	б	9,0	17,0	0,3	139,9	0,15	2	4
Жилы; 250	б	б	7,7	9,1	0,7	46,6	0,31	5	5

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
33	Косо, Калифорния	Карбоновые (пенсильванские) известняки	Кварцево-диоритовый шток	Волластонит, диопсид, гранат, ортоклаз, апатит, галенит, кальцит, флюорит, халькопирит (минералы серебра, золото)
	Мексика			
34	Эль Потоси, Чигуагуа	Меловые известняки, интрузии кварцевых диабазов	Не доказаны; встречаются поздние риолитовые дайки	(Пироксен, гранат, эпидот, ортоклаз, везувиан, цоизит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, кварц, флюорит, кальцит
35	Сан Франциско дель Оро			
36	Санта Барбара, Чигуагуа			
37	Фреснильо, Сакатекас	Сланцы, граувакки		Пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, кварц, кальцит
38	Паррокья-Магистраль	Мезозойские известняки, песчаники, сланцы	Диориты	Гранат, волластонит, эпидот, мусковит, пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит (золото)
39	Сан-Роберто, Сакатекас			Галенит, сфалерит, халькопирит, золото, серебряные минералы
40	Тачко, Гверреро	Сланцы неизвестного возраста, меловые(?) известняки и сланцы	Не доказаны; встречаются поздние некки и дайки риолитов	Кварц, пирит, сфалерит, галенит, гематит, флюорит, барит, (золото), ильваит, актинолит, магнетит, гематит, пирит, сфалерит, галенит, (серебряные минералы)
41	Тесуитлан, Пуэбла	Раннепалеозойские сланцы и филлиты		Кварц, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит (серебряные минералы)

Продолжение табл. 3

Х м	Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
		Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
	Замещения в интрузивных контактах и жилы	6	6	21,0	3,0	0,3	177,5	0,62	1	5
	Трубы и „манто", замещающие известняки	203[4]	280[4]	10,8	10,4		255,0		13	12
				6,8	9,4	0,8	176,9		35	50
	Жилы	65[4]		4,0						
	Жилы	132[4]	142[4]	4,8	5,2	0,6	370,1		37	36
	Жилообразные замещения известняков по контакту с интрузией	23[4]	102[4]	1,3	5,5		177,2			
	Жила	5[4]	60[4]	1,2	13,1		77,7			
	Жилы, замещения в сланцах								6	27
	Линзы в крыльях и ядрах антиклинали	6[4]	7[4]	5,0	6,0	0,5	279,9	1,86		

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
	Аргентина			
42	Агилар, Хухуй	Кембрийские известняки	Третичные граниты	Волластонит, диопсид, гранат, кальцит, кварц, родонит, сфалерит, галенит, (пирит, пирротин, халькопирит)
43	Эсперанса			
44	Ларго Фонтана			
45	Пумауаси	Силурийские сиениты и кварциты		Галенит, кварц, халькопирит, барит, сфалерит (окисленные руды свинца и цинка)
46	Нейкен	Юрские песчаники	Андезитовые дайки	Кварц, барит, галенит (серебряные минералы)
	Боливия			
47	Гарсиа Мендоса			
48	Пулакайо	Порфиры, интрузирующие сланцы, конгломераты	Гранит-порфиры и трахитовые кварц-порфиры	Кварц, пирит, сфалерит, тетраэдрит, галенит, халькопирит, барит (серебряные минералы, висмут, касситерит)
49	Маравилья			
50	Матильда	Силурийские сланцы и песчаники	Граниты?	Сидерит, сфалерит, галенит, халькопирит (серебряные минералы)
	Перу			
51	Карауакра	Мезозойские (?) известняки	Андезитовый шток	Галенит, сфалерит, пирит, тетраэдрит, теннантит, (серебряные минералы), кварц, сидерит
52[1]	Морокоча	Мезозойские известняки	Кварцевый монцонит-порфир	Пирит, халькопирит, энаргит, магнетит, теннантит, сфалерит, галенит, борнит, кварц, кальцит, анкерит, родохрозит, сидерит

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Тела замещения в известняках	418 (*100*)	588	11,5	16,3		279,9		14	15
	25[4]	36[4]						2	
	102[4]	116[4]	6,3	7,0	0,2	18,60		3	
Жила			28,0	3,0		108,85			
			25,0			699,75			
	18[4]	14[4]	20,0	15,0		311,00			
Жилы	40[4]	97[4]	1,5	3,5	0,5	465,50			
								11	24
	8[4]	51[4]	2,8	17,5		62,2			
Жила	92[4]	711[4]	2,5	19,5	0,7	46,65			
Жила на контакте известняков и андезитов				8,0					
Жилы, манто									

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
53[1]	Касапалка	Меловые известняки; раннетретичные песчаники, сланцы, известняки	Богатые натрием порфиры	Кварц, пирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, кальцит (серебряные минералы, киноварь), родохрозит
54[1]	Серро де Паско	Силурийские (?) филлиты, кварциты, мезозойские известняки и агломераты	Кварцевые монцонит-порфиры	Энаргит, теннантит, пирит, марказит, халькопирит, сфалерит, галенит, кварц, гематит (серебряные минералы), диккит, эпидот, серицит, кальцит, алунит
55[1]	Сан Кристобаль	Филлиты, эффузивы	Монцонит-порфиры	Сфалерит, галенит, вольфрамит, халькопирит, тетраэдрит, теннантит, анкерит, гематит, кварц, барит
56	Чилете	Диориты, амфиболсодержащие порфиры		Галенит, сфалерит, кварц (минералы серебра джемсонит)
57	Сантандер	Мезозойские осадки	Третичные кислые интрузивы	Тетраэдрит, галенит, сфалерит, энаргит, халькопирит
58	Травиеско			
59	Волкан	Мезозойские осадки		Кварц, пирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, кальцит (серебряные минералы)
	Австралия			
60[1]	Брокен Хилл, Новый Южный Уэльс			
	Северный Брокен Хилл	Раннедокембрийские слюдистые сланцы, кварцевые сланцы, силиманитогранатовые гнейсы, кварцитовые амфиболиты	Очковые гнейсы, пегматит-аплиты	Галенит, сфалерит (магнетит, пирит, арсенопирит, халькопирит, тетраэдрит, серебряные минералы, золото), кварц с Mn-гранатом, флюоритом, апатитом в силикатных рудах и кальцитом в карбонатных рудах
	Южный Брокен Хилл			
	Цинк Корпорация			
	Нью Брокен Хилл			

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
Жилы	366 [4]	792 [4]	4,0	8,5	1,8	497,6		52	43
Линзы в массивном пиритовом теле; манто в известняках	549 [4]	1555 [4]	6,0	17,0	0,2	155,5			
Жила			1,7	8,0	3,0	364,1			
Жилы	32 [4]	36 [4]	7,0	8,0		311,0			
	97 [4]	956 [4]	1,5	14,9	0,5	46,65			
	528 [4] (*20*)	641 [4]	10,0	12,0		217,7			
Жилы	59 [4]	117 [4]	8,0	16,0	1,0	279,9			
Замещения сложных складок волочения; 1000	2296 (*33*)	1803	14,7	11,6		255,02		50	36
	279 (*100*)	253	14,5	12,2		186,00		36	31
	2030	1407	15,2	10,7		105,74		79	84
	76 (*33*)	152	7,0	18,9		43,54			
	1219	1524	12,0	15,0		62,2		5	8

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
61	Лэйк Джордж, Новый Южный Уэльс	Ордовичские или силурийские аркозы и песчаники	Кварцевые диорит-порфиры	Сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, кварц, барит, кальцит
62[1]	Маунт Айза, Квинсленд	Докембрийские (протерозойские) доломиты и известковые сланцы	Граниты?	Пирит, пирротин, сфалерит, галенит, марказит, халькопирит, тетраэдрит, арсенопирит, серебряные минералы, доломит, окисленные руды свинца и цинка
	Тасмания			
63	Рид Розберри	Нижнепалеозойские кварц-серицитовые сланцы	Полевошпатовые порфиры	Пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, ильваит, Mn-гранат, альбит, апатит, барит, родохрозит (?), серицит, хлорит
	Африка			
64	Брокен Хилл, Северная Родезия	Докембрийские доломиты	Не известны	Сфалерит, галенит, кварц, окисленные руды свинца и цинка, деклуазит, ванадинит
65	Катанга, Бельгийское Конго	Силурийские (?) доломиты	Нет	Халькозин, борнит, халькопирит, сфалерит, барит, кварц, (окисленные медные руды)
66	Мпанда, Урувира, Танганьика	Раннедокембрийские гнейсы и сланцы	Аляскитовые граниты	Галенит, пирит, борнит, гематит, серебряные минералы, золото, вольфрамит, кварц, сидерит
67	Тзумеб, Юго-Западная Африка	Докембрийские (?) доломиты; аркозы и песчаники		Пирит, халькопирит, борнит, сфалерит, энаргит, тетраэдрит, галенит, халькозин, германит, окисленные руды меди, свинца, цинка

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Жила, согласная с крутопадающими вмещающими породами; 315	254 (*40*)	458	6,7	12,0	0,7	43,54	1,55	7	11
Линзы замещения, связанные с зонами складок и сколов; 420	848 (*65*)	742	8,6	7,5		198,67		45	30
	28	*14*	9,4	6,1		124,4			
Линзы массивных мелкозернистых сульфидов, параллельные сланцеватости	152 (*60*)	508	6,0	20,0	0,5	217,7	2,79	4	17
Замещение доломита, связанное с пересечением трещин	680[4] (*20*)	1422[4]	14,0	29,0				8	17
Замещения складчатого доломита		2032[4]		2,0	6,4				52
Руда в сопряжении зон скалывания	132 (*12*)		6,5		0,6	124,4	1,55	Разведывается	
Крутые трубообразные тела, замещающие доломит вокруг ядра *песчаника*; 564	848[4] (*20*)	483[4]	18,5	10,5	10,0			Эксплоатируется	

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
68	Тауз, Французское Марокко	Ордовичские и девонские песчаники, известняки	Диоритовые силли и дайки	Галенит, халькопирит, гематит, пирит, кварц, барит, окисленные руды свинца и меди, вульфенит
69[1]	Туиссит-Бу Бекер, Французское Марокко	Лейасовые доломиты	Не известны	Халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, доломит, окисленные руды свинца и меди
70[1]	Тунис	Юрские известняки	Не известны	Окисленные руды свинца и цинка
	Испания			
71	Реосин	Меловые доломиты	Не известны	Сфалерит, галенит, доломит, пирит (халькопирит), марказит, окисленные руды свинца и цинка
	Италия			
72[1]	Сардиния	Кембрийские известняки, силурийские сланцы	Граниты	Галенит, сфалерит, пирит, сидерит, барит, окисленные цинковые руды
73[1]	Райбл (Каведель Предиль)	Триасовые доломиты	Не доказаны (фельзиты и порфировые интрузии)	Сфалерит, галенит, доломит (барит, пирит), марказит, вюртцит, халькопирит
	Чехословакия			
74	Пршибрам	Нижнесилурийские сланцы и песчаники	Диориты, диабазы, керсантиты	Галенит, сфалерит, пирит, кальцит, доломит, кварц, барит (станнин)
	Австрия			
75	Санкт-Вейт	Триасовые и юрские известняки	—	Сфалерит, доломит, кальцит (флюорит)

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
Жилы									
Замещения доломита	152[4]	50[4]	15,0	5,0				10	1
Замещения известняков									
Замещения доломита	112[4]	686[4]	2,5	15,0				40	16
Жилы в сланцах и замещения в крутопадающих известняках	365[4]	583[4]	5,0	8,0				12	12
Жилы и тела замещения, связанные с покровом сланцев	36[4]	229[4]	2,0	14,0					
Жилы									
Замещения и выполнения пустот в известняках	137[4]	183[4]	6,0	8,0				11	9

Продолжение табл. 3

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис	Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
						Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
	Югославия													
76[1]	Трепча	Нижнепалеозойские (?) кристаллические известняки	Андезитовая брекчия	Галенит, сфалерит, пирит, пирротин (арсенопирит, джемсонит, серебряные минералы), кварц, кальцит (тремолит, пироксен, гранат, магнетит местами)	Замещение известняков на контакте с интрузивной брекчиевой трубой	437	193	8,6	3,8		124,4		50	20
	Греция													
77[1]	Лавриум	Меловые кристаллические известняки	Гранит-порфиры	Галенит, сфалерит, пирит, марказит, арсенопирит, сидерит (серебряные минералы), окисленные руды свинца и цинка	Замещения известняков на трех горизонтах	10[4]	15[4]	7,0	8,5		62,2		5	
	Польша													
78[1]	Верхняя Силезия	Триасовые доломиты	Нет	Галенит, сфалерит, марказит, пирит, доломит, вюртцит, окисленные руды свинца и цинка	Замещения пологопадающих доломитов									
	Германия													
79	Альтенберг, Саксония	Послекарбоновый гранит	Гранит	Касситерит, арсенопирит, висмут, пирит, халькопирит, сфалерит, молибденит, вольфрамит, флюорит, тетраэдрит, магнетит, гематит, галенит	Жилы									
80	Раммельсберг, Гарц	Девонские сланцы		Пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, барит (арсенопирит, висмут, магнетит, пирротин)	Пластовые замещения метаморфизованных осадков									
81	Грунд, Гарц	Девонские и карбоновые (кульм) сланцы, граувакки и маломощные известняки		Галенит, сфалерит, халькопирит, кальцит, кварц, сидерит, барит	Жилы									

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
82	Штейн, Вестфалия	Карбоновые песчаники, углистые сланцы	Неизвестны	Галенит, сфалерит, кальцит, кварц (барит)
83	Христиан Левин, Вестфалия			
84	Мегген, Вестфалия	Девонские сланцы, известняки	Неизвестны	Пирит, сфалерит (галенит); (барит образует внешнюю зону)
85[1]	Мехерних	Триасовые (пестрые) песчаники и конгломераты и девонские сланцы	Неизвестны	Галенит (сфалерит, халькопирит, бравоит), окисленные руды свинца и меди
86[1]	Маубах			
87[1]	Каллер Штоллен			
	Великобритания			
88	Хелкин, Флинтшайр	Карбоновые известняки	Неизвестны	Галенит, сфалерит, кальцит (флюорит)
89	Пеннины	Карбоновые известняки, песчаники, долериты	Неизвестны	Флюоритовые руды: флюорит, кварц, кальцит, галенит, сфалерит, пирит, марказит; цинковые руды: барит, сфалерит, анкерит, пирит (галенит)
	Швеция			
90[1]	Скеллефте	Филлиты, порфиры	Мигматитовые граниты	Кордиерит, гранат, диопсид, тремолит, эпидот, хлорит, серицит, пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит
91[1]	Лайсвалл	Нижнекембрийские песчаники и кварциты	Неизвестны	Галенит, сфалерит, пирит, кальцит, барит, флюорит

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Рудные столбы в жилах, связанных с крупными сбросами	194	294	4,1	6,2		46,65		Разведывается	
Пластовое месторождение		1524	0,1	5,0					
Импрењяции в песчанике	508		1,6 до 3,2			118,18			
и жилы в девонских сланцах	762		2,5 до 3,0						
Жилы в известняках близ сланцевого покрова								Разведывается	
Жилы и пологие метасоматические тела	10		1,0					3	
	2	20	1,0	10,0					
Линзы замещения вдоль осей складок и надвигов	204	1626	0,3	2,6	0,8				8
Вкрапленность								9	

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис
92[1]	Фалун	Кристаллические известняки лептитовой формации; кварциты, слюдяные сланцы	„Древние" граниты	Доломит, тремолит, диопсид, антофиллит, куммингтонит, форстерит, серпентин, тальк, *биотит, хлорит, пирит*, халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит, магнетит
93[1]	Гарпенберг			
94[1]	Саксбергет			
95[1]	Оммеберг	Кристаллические известняки и биотитовые гнейсы	„Молодые" граниты	Волластонит, диопсид, гранат, везувиан, роговая обманка, полевой шпат, кварц, пирротин, сфалерит, галенит, кальцит
	Бирма			
96	Бэдвин	Кембрийские или ордовичские риолиты, туфы	Биотитовые граниты	Кварц, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, анкерит, пирит, тетраэдрит (серебряные минералы), герсдорфит, леллингит, бурнонит, буланжерит
	Китай			
97[1]	Тяньбаошань, Гирин	Ордовичские известняки	Граниты (мезозойские)	Геденбергит, эпидот, халькопирит, сфалерит, галенит, кальцит, кварц, борнит, халькозин (серебряные минералы)
98	Ляонинь	Гнейсы, известняки	Граниты	Гранат, везувиан, эпидот, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, кварц, кальцит
99	Хунань	Песчаники, филлиты, известняки	Граниты, гранодиориты, монцониты	Арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, марказит, теннантит, борнит, кварц, флюорит, хлорит, серицит

Продолжение табл. 3

Характер рудных тел; максимальная глубина, *м*	Запасы, тыс. *т* металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. *т*	
	Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*	Pb	Zn
Сульфидные линзы и вкрапленность в скарновых зонах	396	890	1,5	4,0				2	4
			3,5	5,2	0,3			7	7
			3,0	4,5	0,9				
Импреньяции в скарновых зонах			2,0	12,0				2	10
Замещения эффузивов, связанные с главной зоной разлома	925	558	25,5	15,2	0,9	20,0		Повторно разведуется	
Замещения в известняках; жилы									
Замещения в известняках; жилы									
Жилы и замещения в известняках									

Продолжение табл. 3

№ п/п	Округ или рудник	Вмещающие породы	Ассоциирующие изверженные породы	Минеральный парагенезис	Характер рудных тел; максимальная глубина, м	Запасы, тыс. т металла		Содержание металлов в руде					Текущая добыча, тыс. т	
						Pb	Zn	Pb, %	Zn, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	Pb	Zn
	Япония													
100	Камиока	Палеозойские кристаллические известняки	Гнейсы	Геденбергит, гранат, диопсид, эпидот, скаполит, сфалерит, галенит (пирит, халькопирит), хлорит, кальцит	Массивные замещения	34	349	0,5	5,0					
101	Накататсу			Сфалерит, галенит, серебряные минералы, висмут, диопсид	Метасоматические тела	17	160	0,5	4,6					
102	Хосокура	Миоценовые эффузивы		Галенит, сфалерит, вольфрамит, пирит, марказит, халькопирит, кварц, флюорит	Жилы; 200	37	132	1,7	5,9				6	22
103	Икуно	Эффузивы		Касситерит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, тетраэдрит, висмут, серебряные минералы, кварц, кальцит, флюорит	Жилы; 725	41	346	0,3	2,5					
104	Тайшу	Третичные глинистые сланцы		Сфалерит, галенит, серебряные минералы, пирротин, кварц	Метасоматические жилы	22	57	4,6	9,8					
105	Тиоха	Эффузивы		Сфалерит, галенит, халькопирит, барит, пирит, золото	Жилы	39	76	3,1	6,0					
106	Будо	Эффузивы		Сфалерит, галенит, серебряные минералы	Жилы	4	12	1,5	4,5					

ЛИТЕРАТУРА

РАБОТЫ СВОДНОГО ХАРАКТЕРА

Behre C. H., Jr. Structural Controls in European Lead-Zinc Ores of the Mississippi Valey Type. *Amer. Min.*, **24**, 2 (abs.), 1939.
Blondel F., La repartition mondiale des gisements de zinc et de plomb. *Soc. Géol. France, Bull.*, No 4, 213, 1934.
Fletcher A., *Lead. Min. and Met. Soc. Amer., Bull.*, No 238, I, 1947.
Graton L. C., The Hydrothermal Depth-Zones in Ore Deposits of the Western States, A. I. M. E., 181 and The Depth-Zones in Ore Deposition, *Econ. Geol.*, **28**, 513, 1933.
Guimarães D., Mineral Deposits of Magmatic Origin. *Econ. Geol.*, **42**, 721, 1947.
Imperial Institute, Zinc, *Mineral Industry of the British Empire and Foreign Countries*, 1930.
— Lead. Ibid, 1933.
Ingalls W. R., World Survey of the Zinc Industry. *Min. and Met. Soc. Amer.*, New York, 1931.
Krusch P., Die deutschen Erzgrundlagen für die Zinkindustrie. *Metall. u. Erz.*, Bd. 29, 229, 1932.
Lasky S. G., The Concept of Ore Reserves. *Mining and Met.*, **26**, 471, 1945.
Laycock G. F., Presidential Address. *Bull. Inst. Min. and Met.*, No 479, 14, 1946.
Lindgren W., Mineral Deposits, 1st Ed. New York, 1913.
Mackay R. A., The Control of Impounding Structures on Ore Deposition. *Econ. Geol.*, **41**, 13, 1946.
Niggli P., Abhandlungen zur praktischen Geologie und Bergwirtschaftslehre, **1**, Halle, 1925.
Niggli P., Die Systematik der magmatischen Erzlagerstätten. *Schw. Min. Pet. Mitt.*, **21**, 161, 1941.
Pehrson E. W., Summarised Data of Zinc Production. *U. S. Bur. Mines Econ. Paper*, No 2, 1929.
— The Mineral Position of the United States and the Outlook for the Future. *Mining and Mat.*, **26**, 204, 1945.
Schneiderhöhn H., Geochemie des Bleis und die Bleierzlagerstätten der Welt. *Metallwirtschaft*, **7**, 191, 1928.
— Erzlagerstätten. Jena, 1944.
Schultz F., Die Entwicklung der Blei und Zinkerzeugung der Welt von 1907—1928. *Internat. Bergw.*, **24**, 79, 93, 113, 124, 134, 1931.
Shea W. P., Zinc Ore Reserves of the World. *Eng. Min. Jour.*, **141** (9), 42, 1940.
— Foreign Ore Reserves of Copper, Lead, and Zinc. *Eng. Min. Jour.*, **148** (1), 53, 1947.
Smith L. A., Summarised Data of Lead Production. *U. S. Bur. Mines Econ. Paper*, No 5, 1929.
United States Bureau of Mines and Geological Survey. Mineral Resources of the United States, Washington, 1948.

ОПИСАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Номера соответствуют табл. 3.

1. Swanson C. O., The Sullivan Mine, British Columbia, Symposium, 40, 1948.
2. Alcock F. J., Lead and Zinc Deposits of the Cordilleran Region, Canada, *Fifth Pacific Science Congress, Canada, Proc.*, **2**, 1425, 1934.
3. Alcock F. J., Zinc and Lead Deposits of Canada. *Mem. Can. Geol. Survey, Econ. Geol. ser.*, No 8, 1930.

4. Goranson E. A., Geology of the Monarch and Kicking Horse Ore Deposits, British Columbia. *Econ. Geol.*, **32**, 471, 1937.
5. Stevenson J. S., Geology of Twin „J" Mine. *Can. Inst. Min. Met., Trans.*, 48, 294, 1945.
6, 7. Tanton T. L. and Harrison J. M., Flin Flon and Sherritt Gordon Mines. *Symposium*, 47, 1948.
8. Wilson M. E., Noranda District, *Quebec. Mem. Can. Geol. Survey*, No 229.
Robertson A. and Livingstone D. A., Golden Manitou — New Zinc Producer. *Eng. Min. Journ.*, 145 (3) 74, 1944.
Putnam H. M., Paragenesis of the ore of the Normetal (copper zinc) Mine, Abitibi County, Quebec. *Econ. Geol.*, **38**, 313, 1943.
9. Armstrong P. F., Exploration and development at Calumet Mine. *Can. Inst. Min. Met. Trans.*, **44**, 396, 1941.
Moorhouse W. W., Geology of the Zinc-lead deposit on Calumet Island, *Quebec. Geol. Soc. Amer. Bull.*, **52**, 601, 1941.
McLaren D. C., The New Calumet Mine. *Can. Min. Jour.*, **67**, 233, 1946.
Borham W. M., Zinc-Lead Mines in the Grenville Formation. *Can. Min. Jour.*, **68**, 477, 1947.
10. Newhouse W. H., Geology and Ore Deposits of Buchans, Newfoundland. *Econ. Geol.*, **26**, 399, 1931.
George P. W., Geology of the Lead-Zinc Copper deposits at Buchans, Newfoundland. *Amer. Inst. Min. Eng., Mining Tech.*, **1**, 1937.
11—14. Behre C. H., Jr., Heyl A. V., Jr., and McKnight E. T., Zinc and Lead Deposits of the Mississippi Valley, *Symposium*, 51, 1948.
Ruhl O., Allen S. A. and Holt S. P., Zinc-Lead Ore Reserves of the Tri-State district, Missouri-Kansas-Oklahoma. *U. S. Bur. Mines, Rept. Invest.* No 4490, 1949.
15. Brokaw A. L., Geology and Mineralogy of the East Tennessee Zinc district. *Symposium*, 70, 1948.
16. Currier L. W., Zinc and lead region of South-western Virginia. *Va. Geol. Survey, Bull.*, No 43, 1935.
17. Brown J. S., Structure and Primary Mineralization of the Zinc Mine at Balmat, N. Y., *Econ. Geol.*, **31**, 233, 1936.
18. Pinger A. W., Geology of the Franklin-Sterling Area, Sussex County, *New Jersey, Symposium*, 77, 1948.
19. Shenon P. J., Lead and Zinc Deposits of the Coeur d'Alene District, *Idaho, Symposium*, 88, 1948.
20. Hunt R. N. and Peacock H. G., Lead and Lead-Zinc Ores of the Bingham District, Utah. *Symposium*, 92, 1948.
21. Tenney J. B., The Bisbee Mining District in Ore Deposits of the Southwest. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion Guidebook*, No 14, 40, and *Eng. Min. Jour.*, **123**, 1927, 837, 1932.
22. Boutwell J. M., Park City Mining District in the Salt Lake Region. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion Guidebook*, No 17, 69, 1933.
23. Lasky S. G. and Hoagland A. G., The Central Mining District, *New Mexico, Symposium*, 97, 1948.
24. Young E. A., The Ploche District, Lincoln County, *Nevada. Symposium*, 111, 1948.
25. Lovering T. S. and Behre C. H., Jr., Battle Mountain (Red Cliff, Gilman) Mining District in Colorado. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion, Guidebook*, No 19, 69, 1932.
26. Emmons S. F., Irving J. D. and Loughlin G. F., Geology and Ore Deposits of the Leadville Mining District, Colorado. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, No 148, 1927.
Behre C. H., Jr., Revision of the Structure and Stratigraphy of the Mosquito Range and the Leadville district, Colorado. *Colo. Sci. Soc. Proc.*, **12**, 37.

Loughlin G. F. and Behre C. H., Jr., Leadville Mining District in Colorado. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion, Guidebook*, No 19, 77, 1932.

27. Park C. F., Jr., and Cannon R. S., Geology and Ore Deposits of the Metalline Quadrangle, Washington. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, No 202, 1943.

Lambly C. A. R., Methods and costs of mining Zinc-Lead ores at the Pend Oreille Mines and Metals Co., Metalline Falls, Washington, *U. S. Bur. Mines, Information Circular*, No 7152, 1941.

28. Perry E. S., The Butte Mining District, Montana. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion, Guidebook*, No 23, 1932.

Hart L. H., The Butte District, Montana in Copper Resources of the World. *XVI Int. Geol. Cong.*, 1935.

29. Billingsley P., Tintic Mining District in The Salt Lake Region. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion. Guidebook*, No 17, 101, 1933.

30. Lindgren W., Ore Deposits of the Jerome and Bradshaw Mountains Quadrangles, Arizona. *U. S. Geol. Survey, Bull.*, **782**, 126, 1926.

Mills H. F., Occurence of Lead-Zinc Ore at Iron King Mine, Prescott, Arizona. *Amer. Inst. Min. Eng. Tech. Pub.*, No 2190, 1927.

31. McKnight E. T., Rico District in Colorado. *XVI Int. Geol. Cong. Excursion, Guidebook*, No 19, 63, 1932.

32. Peterson N. P., Geology and Ore Deposits of the Mammoth Mining Camp Area, Pinal County, Arizona. *Univ. Arizona Bull.*, **9**, No 2, 1938.

33. Kelley V. C., Origin of the Darwin Silver-Lead deposits. *Econ Geol.*, **32**, 987, 1937.

— Geology and Ore Deposits of the Darwin Silver-Lead Mining District, Inyo County, California. *Calif. Jour. Mines and Geol.*, **34**, 503, 1938.

34. Prescott B., The Underlying Principles of the Limestone Replacement Deposits of the Mexican Province. *Eng. Min. Jour.*, **122**, 246, 289, 1926.

Fletcher A. R., Mexico's Silver-Lead Manto Deposits and their origin. *Eng. Min. Jour.*, **127**, 509, 1929.

Walker H. A., Mining Methods and Costs at El Potosi Mine, El Potosi Mining Co., Chihuahua, Mexico, *U. S. Bur. Mines, Information Circular*, No 6804, 1934.

35. Danth H. L., Mining and Geology of the San Francisco Mines, Mexico. *Eng. Min. Jour.*, **137**, 378, 1936.

36. Schmitt H., Geologic Notes on the Santa Barbara Area in the Parral district of Chihuahua, Mexico. *Eng. Min. Jour.*, **126**, 407, 1928.

37. Ashley J. H., Mining Sulphide Ore at Fresnillo. *Eng. Min. Jour.*, **137**, 279, 1936.

38. Santillan M., El cobre en México; *Copper Resources of the World, XVI Int. Geol. Congr.*, **379**, 1935.

39. Information from the Director, Instituto de Geologia, Universidad Nacional Autonoma de México, April, 1948.

40. Fowler G. M., The Taxco Mining District, Guerrero, *Mexico, Symposium*, **143**, 1948.

41. Edelen A. W. and Lee H. V., The Tezuitlan Copper-Zinc deposit, Tezuitlan, Puebla, Mexico, *Amer. Inst. Min. Eng. Tech. Pub.*, No 858, 1937.

42. Brown J. S., Factors of Composition and Porosity in Lead-Zinc Replacement of Metamorphosed Limestones. *Amer. Inst. Min. Eng. Tech. Pub.*, No 1194, 1940.

Sgrosso P., Contribución al conocimiento de la mineria y geologia del Noroeste Argentino. *Dirección de Minas y Geologia, Bol.*, No 53, 1943.

45, 46, 48. Miller B. L. and Singewald J. T., Mineral Deposits of South America, New York, 48, 129, 1919.
Singewald J. T., The Lead and Zinc Resources of the Pacific Coast Countries of South America. *Fifth Pacific Science Congress, Canada*, 1933, *Proc.*, **2**, 1431, 1934.
Bain H. F. and Read T. T., Ores and Industry in South America, New York, 314, 1934.
50. Ahlfeld F., Die Bleierzlagerstätten Boliviens. *Metall. u. Erz.*, **25**, 265, 1928.
51. Dittmann A., Carahuacra, eine bemerkenswerte Bleizinkerzlagerstätte Perus. *Metall. u. Erz.*, **23**, 575, 1926.
52—55. Geological Staff, Cerro de Pasco Copper Corporation. Lead and Zinc Deposits of the Cerro de Pasco Copper Corporation in Central Peru. *Symposium*, 154, 1948.
53. McKinstry H. E. and Noble J. A., The veins of Casapalca, *Econ. Geol.*, **27**, 1932.
54. McLaughlin D. H., Graton L. C. и др., Copper in the Cerro de Pasco and Morococha districts, Department of Junin, Peru, *Copper Resources of the World, XVI Int. Cong.*, 513, 1935.
Graton L. C. and Bowditch S. I., Alkaline and acid solutions in hypogene zoning at Cerro de Pasco. *Econ. Geol.*, **31**, 651, 1936.
Moses J. H., Recent studies of the geology of the Cerro de Pasco district (Peru). *Proc. Eight Amer. Sci. Cong.*, **4**, 673, 1940.
55—59. Singewald J. T., The Lead and Zinc Resources of the Pacific Coast Countries of South America. *Fifth Pacific Science Congress, Canada*, 1933, *Proc.*, **2**, 1431, 1934.
60. Andrews E. C., Geology of Broken Hill, New South Wales. *Symposium*, 187, 1948.
61. Kenny E. J. and Mulholland, The Ore Deposits at Captain's Flat, New South Wales. *Proc. Aust. Inst. Min. and Met.*, N. S. No 122, 102, 1939.
Edwards A. B., The composition of the Lead-Zinc Ore at Captain's Flat, New South Wales. *Proc. Aust. Inst. Min. and Met.*, N. S. No 129, 23, 1942.
62. Carter S., Mount Isa Geology, Paragenesis and Ore Reserves. *Symposium*, **195**, 1948.
63. Finucane J. K., Geological Survey of the Roseberry district, Tasmania. *Chem. Eng. Min. Rev.*, **25**, 5, 43, 1932.
Stillwell F. L. Observations on the Zinc-Lead lode at Roseberry, Tasmania. *Proc. Aust. Inst. Min. Met.*, N. S., **94**, 43, 1934.
64. Pelletier R. A., The Zinc, Lead, and Vanadium deposits of Broken Hill, N. Rhodesia, *XV Int. Geol. Cong. Livret guide, Excursion C2*, **13**, 1929.
Jackson O. A. E., Production of Electrolytic Zinc and Vanadic oxide at Broken Hill, Northern Rhodesia. *Chem. Met. Min. Soc. S. Africa Jour.*, **36**, 173, 1936.
Deans T., The Mineral Resources of Northern Rhodesia. *Bull. Imp. Inst.*, **40**, 295, 1942.
65. Robert M., An outline of the geology and ore deposits of Katanga, Belgian Congo. *Econ. Geol.*, **26**, 551, 1931.
Du Trieu de Ternock R., Note sur les gites de cuivre de Katanga meridional. *Rev. Univ. Mines*, 5, 334, 1931.
66. Teale E. O., Developing Tanganyka's Mpanda Mineral Field. *Crown Colonist*, Jan., 41, 1947.
Stockley G. M., Outline of the Geology of the Uruqira Mineral Field. Geol. Div., Dept. of Lands and Mines, Tanganyika Territory, *Short Paper*, June 20th, 1939.

Poussin J. de la V. and McConnell R. B., The Mpanda Area, Western Tanganyika. *Symposium*, 206, 1948.
67. Schneiderhöhn H., Das Otavi-Bergland und seine Erzlagerstätten. *Zeit. für prakt. Geol.*, 1929.
Willemse J., Schwellnus C. M., Brandt J. W., Russell H. D. and Van Rooyen D. P., Lead Deposits in the Union of South Africa. *S. Africa Geol. Survey, Mem.*, No 39, 129, 1944.
68—69. Jouravsky G., Permingeat F., Bouladon J. and Agard J., *Symposium*, 222, 1948.
71. De Alvarado A., Notas Referentes a Yacimentos Espanoles de Plombo, Cinc y Metales Afines. *Bol. Inst. Geol. y Min. Espana*, **51**, 111, 1929.
De Mazarrasa D. J. M., Estudio de criaderos minerales de la province de Santander. *Bol. Ofic. Mines*, 14, 521, 571, 631, 675, 711, 1930.
72. Novarese V., I Giacimenti Piombo Zinciferi della Sardegna. *Symposium*, 251, 1948.
73. Tornquist A., Die geologischen Probleme der Blei-Zinc-Vererzung der Ostalpen. *Geol. Bundesanst., Verh.*, **12**, 234, 1928.
— Die Vererzung der Zink-Bleierz-Lagerstätte von Raibl (Cave del Predil). *Geol. Bundesanst.*, Jb. 81, 143, 1931.
Radcliffe A. F., The Raibl Mine, Cave de Predil, Italy. *Mining Mag.*, 54, 73, 1936.
75. Clar E., Ueber die Blei-Zinklagerstätte St. Veit bei Imst, Nordtirol. *Geol. Bundesanst.*, Jb. 79, 333, 1929.
76. Forgan C. B., Ore Deposits at the Stantrg Lead-Zinc Mine, Yugoslavia. *Symposium*, 290, 1948.
78. Zwierzycki J., Lead and Zinc Ores in Poland. *Symposium*, 314, 1948.
79. Berg G., Zonal Distribution of Ore Deposits in Central Europe. *Econ. Geol.*, **22**, 113, 1927.
80—83. Varvill W. W., Dines H. G., Deans T. and Harrison A. G., Lead-Zinc-Copper Mining in the Harz. *B. I. O. S. Final Report*, No 654, Item 21, 1946.
80. Schmidt W. E., Das Rammelsberger Erzlager, seine Tektonik und seine Genesis. *Z. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen*, Bd. 81, 247, 1933.
Berg G., Lagerstättenkundliche Untersuchungen an Rammelsberge bei Goslar. *Z. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen*, 81, 459, 1933.
Bornhardt W., Geschichte des Rammelsberger Bergbaues von seiner Aufnahme bis sur Neuzeit. *Archiv. für Lagerstätten Forschung*, H. 58, 1931.
84. Frebold G., Uber die Bildung der Alaunsschiefer und die Entstehung der Kieslagerstätten Meggen und Rammelsberg. *Abh. zur prak. Geol. und Bergwirt.*, **13**, 1927.
Dunham K. C. and Purdon F. F., Barytes and Pyrite in Northwest Germany. *B. I. O. S. Final Report*, No 287, Item 22.
85—87. Behrend F., Die Blei- und Zinkerzführenden Imprägnations-Lagerstätten im Buntsandstein am Nordrand der Eifel und ihre Entstehung. *Symposium*, 325, 1948.
88. Schnellmann G. A., Applied Geology at Halkyn District United Mines Ltd. Trans. *Inst. Min. and Met.*, **48**, 585, 1940.
89. Dunham K. C., Genesis of the North Pennine Ore Deposits. *Quart. Jour. Geol. Soc.*, **90**, 689, 1934.
— Geology of the Northern Pennine Orefield. *Mem. Geol. Survey Gt. Britain.*
Traill J. G., The geology and development of Mill Close Mine, Derbyshire. *Econ. Geol.*, **34**, 851, 1939.
90—91. Grip E., Lead and Zinc Deposits in Northern Sweden. *Symposium*, 199, 1948.

95. Magnusson N. H., Zinc and Lead Deposits in Central Sweden. *Symposium*, 206, 1948.
96. Clegg E. L. G., A Note on the Bawdwin Mines, Burma. *Rec. Geol. Survey India*, No 75, 1940.
Hsieh C. Y., Note on the Lead, Zinc, and Silver Deposits in China *Symposium*, 380, 1948.
100. Tsuboya K., Geology and Ore deposits of the Hosokura Lead-Zinc mine, Miyagi Prefecture, *Japan. Jap. Jour. Geol. Geog.*, **10**, 161, 1933.
100—106. Imperial Geological Survey of Japan. The Geology and Mineral Resources of the Japanese Empire, Tokyo, 90, 1926.
Uyemura K., Lead and Zinc Resources of Japan. *Fifth Pacific Science Congress, Canada*, 1933, *Proc.*, **2**, 1449, 1934.
Kato T., The Types of Lead-Zinc Ore deposits of Japan. Ibid., 1457, 1934.
Griggs A. B., Zinc-Lead Resources of Japan. *G.H.Q., S.C.A.P. Natural Resources Section, Report*, No 65 and supplement.

КАНАДА

К. СВАНСОН[1]

РУДНИК СУЛЛИВАН, БРИТАНСКАЯ КОЛУМБИЯ

Краткое содержание

Рудное тело Сулливан расположено в юго-восточной части Британской Колумбии; оно образовалось в основном в результате сульфидного замещения некоторых глинистых и илистых пластов в формации Олдридж, принадлежащей к позднему докембрию. Рудная залежь представляет собой большую линзу, занимающую часть свода и восточное крыло антиклинального выступа. Основными рудными минералами являются галенит и сфалерит. Они ассоциируют с пирротином и пиритом, кварцем, хлоритом, мусковитом, тремолитом, клиноцоизитом, титанитом, турмалином, гранатом, биотитом и альбитом. В результате селективного замещения исходных пластов руда отчетливо слоиста и обычно в большей или меньшей мере имеет плойчатую текстуру. Структурные соотношения указывают на то, что процесс деформации совершался здесь как во время минерализации, так и после ее окончания. В меньшей степени руда локализовалась вдоль осей меридиональных складок и зон трещиноватости с избирательным замещением более глинистых слоев.

Боковые породы широко изменены. Турмалинизация, вызвавшая образование темноцветной породы роговикового сложения, наблюдается главным образом в лежачем боку, между тем как хлоритизация и альбитизация наиболее интенсивны в висячем боку.

История

Рудник Сулливан расположен у восточного подножья горной цепи Парцель в Британской Колумбии, на расстоянии около 80 *км* к северу от 49-й параллели. Это месторождение было открыто в мае 1892 г. Сулливаном, Смитом, Кливером и Барчеттом, пересекшими горы Парцель со стороны Касло. Выход руды казался сначала мало интересным, так как это рудное тело близ поверхности имеет относительно незначительную мощность и содержит много цинка, который в те времена не ценился. Барчетт в 1944 г. написал интересное сообщение об обстоятельствах, приведших к открытию месторождения.

Работы на описываемом участке развивались медленно вплоть до 1899 г., когда было закончено сооружение ветки Канадской Тихоокеанской железной дороги из Кранбрука в Кимберлей.

[1] C. O. Swanson, главный геолог компании Consolidated Mining and Smelting, Канада.

С 1900 г. началась систематическая разработка рудника, причем в следующие три года было отгружено для плавильных заводов в Нельсоне и Трейле, в Британской Колумбии, 4500 *т* руды. К 1903 г. было добыто около 270 000 *т* руды. Тогда же был построен плавильный завод в Мэрисвилле на расстоянии около 8 *км* от рудника. После того как на этом заводе было переплавлено 67 000 *т*, он был закрыт в 1907 г. на некоторое время из-за затруднений металлургического характера.

В 1909 г. предприятие это было включено в состав компании Consolidated Mining and Smelting, Канада, и в следующем году разработка рудника была возобновлена. В течение пяти лет выборочная разработка и сортировка дали 169 000 *т* высокопроцентной руды, которая была отправлена на плавильный завод в Трейль, Британская Колумбия. Эта продукция была получена из верхних горизонтов (1400—1450 *м*). Между тем данные глубокого бурения обнаружили присутствие здесь огромной линзы, состоящей из различных сульфидов. В 1915 г. была заложена главная штольня на горизонте 1188 *м*. К началу 1919 г. она была пройдена на 3 *км* по направлению к северной оконечности рудного тела.

В то же время был значительно усовершенствован процесс обогащения. В 1923 г. на руднике была построена первая обогатительная установка (имеющаяся на нем и сейчас) с пропускной способностью в 2200 *т* в день. В 1924 г. правлением был составлен полный отчет об эксплоатации рудника. Темпы добычи быстро увеличивались, и в 1944 г. добывалось уже около 7200 *т* в день.

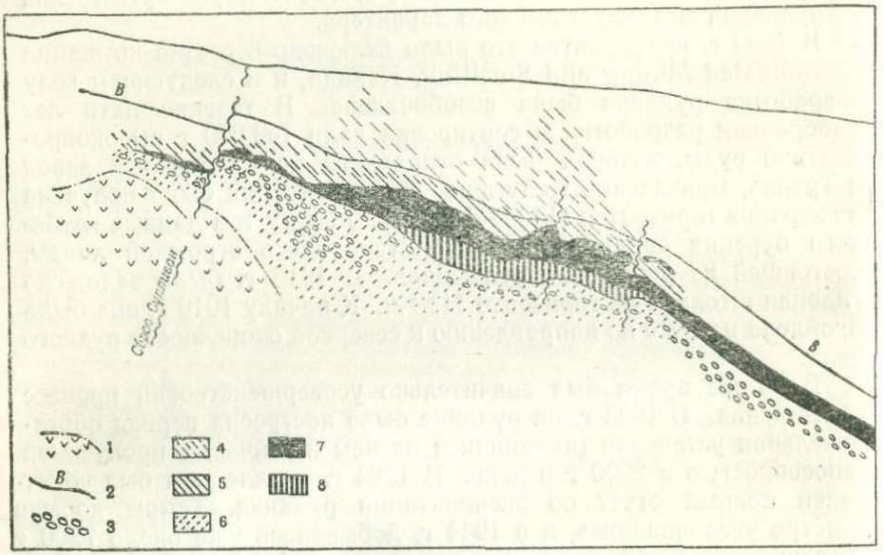
Продукция и запасы

До конца 1946 г. в месторождении Сулливан было добыто около 41 000 000 *т* руды. Добыча 1946 г. составила 2 100 000 *т*, в том числе около 170 000 *т* свинца, 135 000 *т* цинка и 150 *т* серебра. Наивысшая цифра добычи в военное время была достигнута в 1942 г., когда плавильный завод в Трейле переработал 221 000 *т* свинца, 158 000 *т* цинка и 242 *т* серебра. В течение ряда лет достоверные и предполагаемые запасы руды данного месторождения сохранялись на уровне, обеспечивающем добычу не менее чем на 20 лет, исходя из современных темпов.

Основные черты геологического строения

Первое подробное геологическое описание рудника Сулливан и окружающего его района было сделано Шофильдом (1915). Он определяет эту залежь как пластовое замещение в позднедокембрийской формации Олдридж. В дальнейшем территория рудника была подробно изучена Банкрофтом, исследовавшим ее

по поручению компании Consolidated and Smelting. Им были установлены главнейшие структуры месторождения. Исследование было продолжено Мидом (W. J. Mead), состоявшим в течение нескольких лет консультантом компании. Джуру (Jure) и Пентланду (1929), служившим в компании в качестве геологов, мы в значительной степени обязаны всем, что нам сейчас известно



Фиг. 3. Вертикальный разрез рудника Сулливан.

1—габбро и гранофировые породы; *2*—основание верхних кварцитов; *3*—конгломераты лежачего бока; *4*—альбитовая порода; *5*—хлоритовая порода; *6*—турмалиновая порода; *7*—руда; *8*—пирротин.

об этом рудном теле. Результаты новейшего обследования описываемой территории, проведенного Канадским геологическим комитетом, изложены в прекрасной работе Райса (1937). В 1941 г. руководство геологическими работами на руднике было поручено автору настоящей статьи, который принял участие в составлении доклада о геологии местности (Свансон и Гуннинг, 1945). В этом докладе, так же как и в настоящей статье, были широко использованы ценные данные, почерпнутые из работ более ранних авторов, за предоставление которых мы выражаем им нашу признательность.

Одной из главных структур на описываемой территории является сброс Кимберлей, впервые обнаруженный Банкрофтом (1927), а в дальнейшем вторично открытый Райсом (1937), который и дал ему вышеуказанное название. Сброс простирается приблизительно в широтном направлении и имеет падение на

север под углом 45—55°. Блок висячего бока, повидимому, опустился, причем сланцы Крестон (с севера) пришли в соприкосновение с нижней частью формации Олдридж (с юга). Контактирующие по нарушению толщи стратиграфически отстоят друг от друга на 4600 *м*. В плане меридиональный контакт серий Крестон—Олдридж, падающий под углом 30—40° на восток, передвинулся в северном крыле сброса примерно на 9,5 *км* к западу.

Месторождение находится в южном блоке сброса Кимберлей, сложенном на рудном участке свитами, относящимися к нижней части формации Олдридж, в небольшом количестве присутствуют габбровые силли и дайки — так называемые интрузивы Парцель, повидимому, относящиеся, так же как и вмещающие их породы, к позднему докембрию. Породы имеют региональное меридиональное простирание и падают на восток под углом 30°; на территории месторождения моноклинальная структура осложняется наличием куполообразной второстепенной складки, носящей название антиклинали Сулливан.

Рудное тело занимает часть гребня и восточное крыло этой антиклинали. В верхних горизонтах рудное тело имеет в плане очертания перевернутой буквы S. Беря свое начало на юге, оно сперва идет в северо-западном направлении, затем поворачивает на север, а потом снова на северо-запад. На глубине это резко выраженное изменение направления незаметно, и залежь имеет почти однообразное северо-западное простирание. Падение залежи в верхних и южных частях пологое, но с глубиной, и к северу оно становится более крутым.

К западу и востоку от рудника находятся большие габбровые интрузивы, но в самом месторождении встречается лишь небольшое количество даек. Интрузивное тело, расположенное к западу от месторождения, имеет в поперечном разрезе форму, несколько напоминающую гриб. Верхняя часть его представляет в основном силль, залегающий на 30 *м* или около этого ниже рудной зоны; залежь несколько заходит на восточный край этого силля. Несколько крупных даек ассоциируется с интрузивным телом; поблизости от его ядра залегают большие массивы гранофировых пород, относимые к гранитизированным осадочным отложениям. Габбровый интрузив, залегающий к востоку от рудника, представляет собой мощный силль, лежащий приблизительно на рудном горизонте. Его западный край находится на расстоянии около 1 *км* на восток от рудного тела.

К числу второстепенных структур, встречающихся в месторождении, относятся интенсивная складчатость и зоны трещиноватости типа Сулливан. Оси складок идут в меридиональном направлении; складки обычно опрокинуты на восток, согласно с общим направлением падения свит. Сбросы простираются в север-северо-восточном направлении и круто падают к западу;

они обусловливают смещение руды с опусканием западного блока более чем на 30 *м*. Местами вдоль сбросов этого типа попадаются маломощные дайки слюдяного лампрофира.

В центральной части рудника ярко выражено изменение боковых пород. Здесь различаются три основных типа такого изменения. Турмалинизация, приводящая к образованию темной роговиковой породы, наблюдается главным образом в лежачем боку. Хлоритизация и альбитизация развиваются преимущественно в висячем боку и местами сопровождаются развитием обильного пирита.

Детали геологического строения

Стратиграфическая последовательность. Одним из наиболее интересных результатов новейших геологических исследований месторождения является расшифровка существующей здесь стратиграфической последовательности. В течение многих лет повсеместно однообразное чередование аргиллитовых и алевролитовых пластов сводило на нет все попытки выявить особые различия, которые помогли бы выявить маркирующие горизонты. При описании осадочных пород авторы основывались на наиболее ярких явлениях, вызываемых минерализацией и изменением боковой породы. Благодаря применению этого метода были установлены некоторые взаимосвязи, как, например, обычно наблюдающееся нахождение роговиковых пород в лежачем крыле. Вместе с тем метод этот привел к затемнению вопроса о структурном положении рудного тела; до известной степени неразрешенным оставался также вопрос о происхождении самих измененных комплексов.

Прежде чем перейти к описанию последовательности, которая в конце концов все же была выявлена, мы считаем целесообразным сделать несколько замечаний по поводу обычного литологического характера пластов. Преобладающими типами здесь являются аргиллит и алевролит, состоящие в основном из чешуек серицита диаметром от 0,01 до 0,03 *мм* и из зерен кварца диаметром до 0,10 *мм*. Чешуйки серицита неправильно ориентированы и, повидимому, представляют собой глинистый материал, перекристаллизовавшийся в статических условиях. Мелкие зерна кварца в значительной степени также обязаны своей формой процессу перекристаллизации; более крупные же зерна не изменились сколько-нибудь существенным образом под влиянием нового нарастания. Как правило, зерна диаметром более 0,03 *мм* обнаруживают черты, ясно отражающие первоначальные условия осаждения. Пласты более крупнозернистых пород, чем алевролиты, немногочисленны, хотя местами здесь встречаются мелко- и среднезернистые кварциты; последние имеют большое значение,

так как могут служить маркирующими горизонтами. Обычно кварциты здесь загрязнены, причем их можно отнести либо к глинистым, либо к известковистым. Встречаются также немногочисленные горизонты конгломератов; в конгломератах резко преобладают гальки аргиллита (чаще чем кварца и других стойких материалов), причем диаметр их колеблется в пределах от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. В некоторых пластах обломки хорошо окатаны и отсортированы, в остальных же, особенно в мощных конгломератах, они угловаты, имеют крайне разнообразные размеры и, как правило, рассеяны в породе.

Кроме указанных выше преобладающих минеральных составных частей, осадочные породы содержат иногда небольшие окатанные зерна циркона и ряд других минералов, образовавшихся путем перекристаллизации, иногда с незначительным привносом элементов извне. Из примесей чаще всего здесь встречаются турмалин, титанит, хлорит, клиноцоизит, пирротин. Следует отметить, что полевые шпаты и зерна кластической слюды в этих осадочных породах попадаются редко.

Для практических целей удобно объединить наименее измененные разности с типом отложений, относящимся к несколько более высокой степени метаморфизма, а именно к биотитово-гранатовой фации. Этот тип содержит от 15 до 30% биотита, встречающегося здесь в виде неправильных ксеноморфных пойкилобластических зерен диаметром от 0,10 до 0,30 *мм*. Гранат менее обилен, хотя часто все же составляет до 5%; благодаря своим формам он отчетливо выделяется в породе.

Стратиграфический разрез устанавливается главным образом путем корреляции рассеянных в разрезе кварцитовых пластов и конгломератов и детального изучения и сопоставления мощностей отдельных пластов. Для того чтобы провести такое сопоставление, пользуются графиками разрезов в масштабе 1 : 120. Этот прием является первичной и вместе с тем основной стадией исследования; после того как последовательность для какой-нибудь одной части рудника установлена, идентификация маркирующих горизонтов может быть произведена легко, при условии достаточного знакомства исследователя с типами пород.

В общем, разрез на площади рудного поля начинается с тонкослоистой свиты лежачего бока, суммарная мощность которой составляет не менее 150 *м*. В этой серии мощность отдельных слоев не превышает 30 *см*, причем соседние пласты отчетливо различаются по структуре.

На большей части рудного поля, за исключением южного и восточного участков, следующим вышележащим горизонтом является конгломерат лежачего бока. На больших глубинах он представляет ясно слоистую породу мощностью местами до 30 *м*, но обычно не превышающей 3—6 *м*. Мак Ичерном (1944) было

отмечено несогласное залегание в основании конгломерата. На более высоких горизонтах северной части рудного тела конгломерат местами достигает большой мощности; его текстурные отношения пока еще достаточно не изучены. В настоящее время наиболее приемлемым объяснением, повидимому, является предположение, что конгломерат представляет собой брекчию, отложенную в сильно эродированных долинах.

Рудная зона имеет мощность от 60 до 90 *м* и приурочена либо к конгломератам лежачего бока, либо к тонкослоистой свите лежачего бока. Вмещающая руду толща сложена большей частью чередующимися прослоями аргиллитов и алевролитов, мощность которых колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до 6 *м*. В основании каждого из более мощных пластов обычно залегает слой (30 *см* и более) алевролита, переходящего в мелкозернистый кварцит; три из этих более крупнозернистых пластов оказались весьма полезными в качестве маркирующих горизонтов. Один из них, так называемый переходный алевролит, характеризуется присутствием в глинистой основной массе зерен песка среднего размера. Эта характерная черта сохраняется на протяжении нескольких сот метров по простиранию и по падению; она заметна даже в тех местах, где пласт подвергся сильным изменениям.

Приведенное выше описание характеризует бóльшую часть рудной зоны, но для полноты картины считаем нужным добавить еще два замечания. Близ верхней части рудной зоны имеется тонкослоистый горизонт мощностью от 6 до 12 *м*, совершенно сходный с горизонтом лежачего бока; вдоль южной кромки рудного тела местами встречается зона конгломерата, лежащая между вторым и третьим слоями алевролита, считая снизу.

Характерной, хотя и не самой главной чертой является присутствие пирротина даже на значительных расстояниях от рудного тела. Пирротин встречается главным образом в виде тонких пластинок в аргиллитах, особенно в горизонтах, расположенных непосредственно под одним из трех главных алевролитовых пластов. По мере усиления минерализации это явление находит свое отражение в том, что алевролиты обычно в последнюю очередь замещаются массивными сульфидами, причем в большей части рудника один из прослоев алевролита составляет висячий бок рудного тела.

Верхние кварциты перекрывают рудную зону. Они представляют собой единственный типичный кварцитовый горизонт на данной территории. Пласты кварцита, от мелкозернистого до крупнозернистого сложения, разделенные тонкими глинистыми прослойками, образуют свиту мощностью от 6 до 15 *м*. Эти горизонты чередуются с тонкослоистыми аргиллитовыми и алевролитовыми отложениями такой же мощности.

Пласты, залегающие над верхними кварцитами, сложены преимущественно тонкослоистыми аргиллитами и алевролитами, с редкими кварцитовыми прослойками. Песчанистые горизонты в этой части разреза имеют мощность, редко превышающую 3 *м*, причем они являются резко подчиненными в разрезе. Эта характерная черта еще сохраняется на расстоянии не менее 300 *м* над верхним кварцитовым горизонтом.

Сульфидное тело. Сульфидное тело представляет собой в основном результат замещения некоторых горизонтов рудовмещающей зоны. В стратиграфическом отношении руда залегает между конгломератами лежачего бока и тонкослоистой толщей, подстилающей верхние кварциты.

Основными сульфидами здесь являются: галенит, сфалерит (марматит), пирротин и пирит. К числу менее важных компонентов относятся халькопирит и арсенопирит. Местами преобладает волокнистый свинцово-сурьмяный минерал, определенный Уорреном (1943) как буланжерит. Среди металлических окислов довольно часто встречается магнетит; в небольших, но промышленных количествах присутствует касситерит.

В месторождении имеется большое число нерудных минералов. Наиболее распространенными из них являются кварц и серицит, представляющие незамещенные части исходных пород. Перекристаллизация и поступление новых материалов вызвали образование разнообразных минералов, из которых наиболее обычны кварц, хлорит, мусковит, тремолит, клиноцоизит, титанит, турмалин, гранат, биотит, альбит и кальцит. Недавно Фризом (Freeze, 1946) был определен редкий марганцевый минерал, фриделит, связанный с некоторыми зонами дробления.

Бóльшая часть руды обнаруживает ясно выраженную слоистость, обусловленную селективным замещением исходных прослоев и пластов. Мощность полос колеблется в пределах от 2 *см* и менее до нескольких десятков сантиметров. Обычно наблюдается бóльшая или меньшая плойчатость рудных полос. Очевидно, деформация происходила как на протяжении периода минерализации, так и после его окончания; это видно из того, что сульфиды местами следуют по мелким трещинам растяжения, образовавшимся на второстепенных антиклиналях. В большинстве же случаев в рудах обнаруживаются зеркала скольжения, обусловленные движением между слоями во время складкообразования.

Парагенезис, выявленный изучением микроструктуры, был описан Шварцем (1926). Этот автор считает, что основная масса галенита более позднего происхождения, чем пирротин и сфалерит. На это действительно указывает присутствие галенита вдоль трещин в других сульфидах. В одном из участков месторождения

структура говорит о том, что лампрофировая дайка была инъицирована в период минерализации. Эта дайка отчетливо сечет интенсивно минерализованные осадочные породы, в которых основными сульфидами являются пирротин и сфалерит; сама же она сечется жилкой галенита мощностью в несколько сантиметров, следующей по второстепенному сбросу.

Кроме руды, залегающей в виде пластового замещения, имеется также небольшое количество руды в жильных штокверках, протягивающихся вдоль зон дробления, особенно зон типа Сулливан. Местами в висячем боку главного рудного тела разрабатывалась штокверковая зона мощностью свыше 30 *м*. В лежачем боку встречаются небольшие жилы, состоящие главным образом из кварца, карбонатов, галенита, сфалерита, пирротина и пирита. В участках сгущения таких жилок возникают промышленные рудные блоки, но систематическая разработка их не велась.

Пентланд (1943) отметил общее зональное строение рудной залежи. Выше горизонта 1380 *м* рудное тело имеет непрерывную протяженность, хотя оно и обладает незначительной мощностью. Несколько ниже залегает центральная безрудная зона, простирающаяся в длину примерно на 240 *м* и опускающаяся почти до горизонта 1170 *м*. Верхняя ее часть состоит в основном из пирита, а нижняя — из пирротина и подчиненного пирита, причем последний залегает в висячем боку пирротиновой зоны; обе линзы — пиритовая и пирротиновая — протягиваются за пределы безрудной зоны, образуя зальбанды висячего и лежачего боков рудного тела. Ниже горизонта 1170 *м* рудное тело протягивается снова без перерывов по простиранию и опускается по меньшей мере до горизонта 1005 *м* — самого глубокого, достигнутого здесь подземными работами. В общем, содержание свинца в руде оказывается самым большим на участке, примыкающем к центральной безрудной зоне. По мере удаления от этой зоны отношение содержания цинка к содержанию свинца в руде постепенно возрастает.

Изменения боковых пород. Боковые породы обнаруживают ряд изменений, вызванных отчасти метаморфизмом под действием габбрового массива, расположенного к западу от рудника, и отчасти вследствие минерализации, связанной с рудным телом. Здесь мы ограничимся рассмотрением изменений только последнего типа. Оруденение сопровождалось турмалинизацией, хлоритизацией и альбитизацией боковых пород. Процессом турмалинизации были охвачены осадочные породы лежачего бока вдоль большей части рудного тела выше горизонта 1170 *м*. Типичным продуктом этого процесса является твердая плотная порода, от бурого до черного цвета, называемая здесь роговиком. По

своим физическим свойствам она действительно походит на темный роговик, но исследование под микроскопом показало, что осадочные породы тут изменились главным образом вследствие превращения серицита в турмалин. Пелитовые же и псаммитовые кварцевые зерна при этом процессе мало изменились; в результате при изменении сохраняются признаки первоначальных осадков и легко различаются отдельные стратиграфические горизонты.

Турмалинизированная масса протягивается по меньшей мере на 460 *м* ниже рудного тела. Ее верхний контакт почти согласный, в то время как нижний пересекает напластование и является местами крайне неправильным. Хотя турмалинизация наблюдается главным образом в лежачем боку, она имеет место, правда в меньших размерах, и внутри сульфидного тела и над ним.

Совершенно очевидно, что турмалинизация предшествовала отложению почти всех сульфидов, поскольку так называемый роговик содержит многочисленные прожилки пирротина, с которыми ассоциированы хлорит, гранат и другие минералы главной залежи. Местами эти прослойки очень многочисленны и образуют массу, в значительной части сложенную пирротином.

Слабая хлоритизация широко распространена; интенсивное же ее проявление наблюдается только близ основного сульфидного тела, большей частью в висячем его боку. В общем, хлоритизация обнаруживает тенденцию тесно ассоциироваться с другими типами изменения; нередко здесь наблюдаются переходы от хлоритовой породы к руде, массивному пириту и альбитовой породе.

Типичная хлоритовая порода имеет темнозеленую окраску и афанитовую структуру. Бóльшая ее часть, вероятно, представляет собой измененный аргиллит. В песчаных и алевролитовых пластах хлоритизация была менее интенсивной, вследствие чего образовались хлоритовые и биотитовые породы, содержащие рассеянные зерна сульфидов и кварца.

Под влиянием процесса альбитизации там, где он получил достаточное развитие, возникают почти чисто альбитовые породы. В качестве подчиненных примесей в альбитовых породах присутствуют пирит (несколько процентов) в виде вкрапленных крупных кристаллов, и хлорит (5—15%) в виде зерен неправильной формы и розеток. Как уже упоминалось выше, переходы в хлоритовую породу здесь обычны, но пирротин и рудные минералы отсутствуют.

Альбитовые породы встречаются главным образом в висячем боку рудного тела. В отличие от так называемых роговиков они не представляют собой однородной массы, так как альбитизированные осадочные породы неравномерно перемежаются с неизмененными, или хлоритизированными, пластами. В отдельных слу-

чаях контакты между различными типами могут соответствовать напластованию, но в основном альбитизированные массы являются резко несогласными. При хорошем знании разреза удается в альбитизированной породе проследить определенные горизонты, основываясь при этом главным образом на структурных различиях. В общем, однако, изменение маскирует бо́льшую часть второстепенных черт осадочных пород.

Локализация руды. В сравнительно небольшой степени локализация руды определяется текстурными факторами. Преимущественное замещение более глинистых пластов хорошо видно там, где сульфидное тело содержит остатки осадочных пород. При этом обычно устанавливается, что песчаные и алевролитовые пласты меньше всего изменились и обычно один из основных алевролитовых горизонтов составляет висячий бок. Второстепенные антиклинали, меридионального направления, с крутым падением восточных крыльев, вызывают утолщение рудной залежи; при этом в отдельных частях месторождения вдоль таких складок наблюдается более интенсивная минерализация. В пределах основного рудного тела трещинные зоны типа Сулливан могут сопровождаться значительным увеличением содержания руд. В других местах такие зоны могут быть отмечены изменением минерализации из сульфидной в силикатную; месторождение на одной стороне может характеризоваться совершенно иной мощностью и содержанием, чем на другой. Габбровые дайки, пересекающие рудную зону, обычно бывают в значительной степени минерализованными, но представляют собой неблагоприятную породу для рудоотложения. В случае, если рудное тело пересекает маломощную дайку, оно, как правило, не претерпевает значительных изменений, тогда как мощные дайки, повидимому, представляли своего рода барьер для руды.

Что касается сульфидного тела в целом, то обстоятельство, что растворы избирали в качестве вмещающей породы осадочные породы рудной зоны, а не какой-нибудь другой член свиты Олдридж, представляет собой загадочное явление. Возможно, что оно обусловлено тем, что рудовмещающая зона обладала наибольшей проницаемостью. Надо отметить, что тонкослоистые осадочные породы лежачего бока, а также и висячего бока над верхними кварцитами не благоприятствовали проникновению растворов на большие расстояния. С другой стороны, в пределах рудовмещающей зоны имеются некоторые пласты, которые прослеживаются на расстоянии сотен метров, и одним из наиболее значительных проницаемых контактов этого типа могло являться несогласие в основании конгломератов лежачего бока.

Возможно, что существенное влияние на концентрацию руды оказали верхние кварциты, являющиеся наиболее компетентным

горизонтом на рудном участке. Можно предположить, что этот горизонт сохранял свою непрерывность на протяжении периода деформации и подвергался только простой пологой складчатости и мог играть роль барьера для рудоносных растворов. С другой стороны, рудная зона, залегающая непосредственно под кварцитами, была местом интенсивных подвижек, и, поскольку имеются многочисленные доказательства тесной связи минерализации во времени с процессом деформации, вышеуказанные взаимоотношения могут служить достаточным объяснением локализации месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

Bancroft J. A., *Частное сообщение*, 1927.
Burchett W. C., The Discovery of the Sullivan Mine. Western Miner, 17, No 8, 1944.
Daly R. A., Geol. Survey of Canada, *Memoir*, **38**, 221, 1912.
Freeze A. C., *Рукопись*, 1946.
Jure A. E., University of Wisconsin, Ph. D. Thesis, 1929.
McEachern R. G., *Частное сообщение*, 1944.
Pentland A. G., Occurrence of Tin in the Sullivan Mine. *C.I.M. Trans.*, **46**, 17, 1943.
Rice H. M. A., Geol. Survey of Canada, *Memoir*, **207**, 1937.
Schofield S. J., Geol. Survey of Canada, *Memoir*, **76**, 1915.
Schwartz G. M., Microscopic Features of the Sullivan Ore. *Eng. Min. Jour.*, Sept. 4, 1926.
Staff C. M. & S. Co., The Development of the Sullivan Mine. *C.I.M. Trans.*, **27**, 306, 1924.
Swanson C. O. and Gunning H. C., Geology of the Sullivan Mine. *C.I.M. Trans.*, **48**, 645, 1945.
Warren H. V., *Личное сообщение*, 1943.

Т. ТАНТОН[1], *Д. ГАРРИСОН*[2]

РУДНИКИ ФЛИН ФЛОН И ШЕРРИТ ГОРДОН

Краткое содержание

Рудные тела Флин Флон состоят из массивных и из вкрапленных сульфидных руд; они локализованы в виде линз замещения вдоль северо-восточных крыльев *складок волочения, связанных с погружающейся антиклиналью.* Эти рудные тела ассоциируют с кварцевым порфиром вдоль контакта между пирокластическими породами и андезитом. Рудные минералы представлены халькопиритом и сфалеритом, ассоциированными с пиритом. Второстепенными составными частями массивной руды являются Au, Ag, Se, Te, Cd и Co. Вкрапленные руды рассеяны в хлоритовых, тальковых и карбонатных сланцах.

Рудные тела Шеррит Гордон представляют собой замещения, связанные с интрузией пегматита в сложно-складчатые гнейсифицированные кварциты и гранатсодержащие роговообманковые гнейсы докембрийского возраста. Сульфидные минералы представлены пиритом, пирротином, халькопиритом и сфалеритом. Встречаются также золото и серебро.

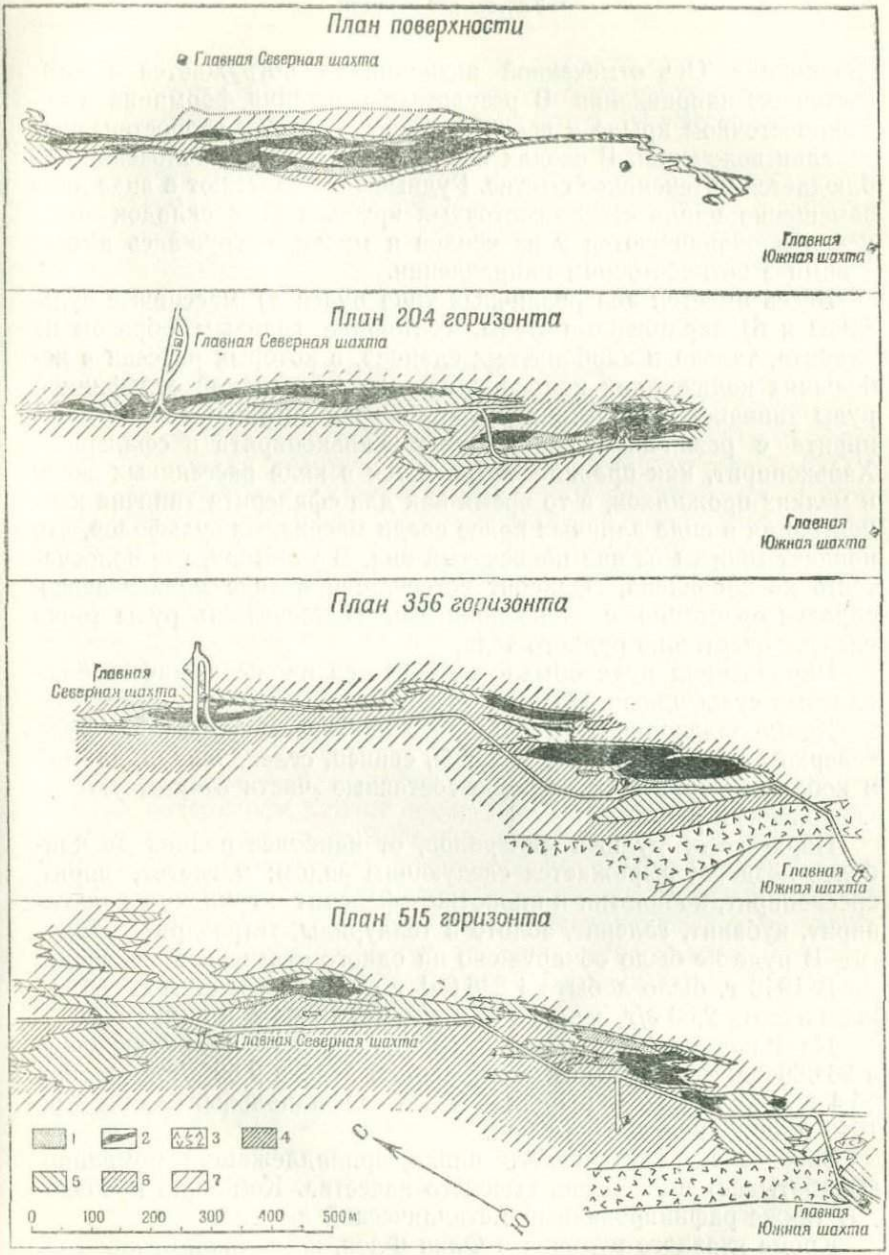
Рудник Флин Флон

Рудник Флин Флон, принадлежащий компании Hudson Bay Mining and Smelting и эксплоатируемый ею, расположен на границе штатов Манитоба и Саскачеван, в 138 *км* к северу от Пас, Манитоба. Медные руды были здесь открыты в 1914 г. С начала разработки (с 1930 г.) было добыто более 27 000 000 *т* руды. Выработки достигают глубины 1143 *м*.

Породы, залегающие в непосредственной близости от месторождения, принадлежат к архейскому возрасту; они представлены андезитовыми интрузивами и эффузивами, а также подчиненными кварцевыми порфирами. Породы эти инъицированы силлями и дайками основных и кислых интрузивов, обнаруживающих признаки дифференциации. Все эти породы, а также руда в верхней части рудника пересечены небольшими дайками полевошпатового порфира.

Руда ассоциируется с кварцевым порфиром вдоль контакта между компетентными андезитовыми породами на северо-востоке и более рассланцованными пирокластическими породами, а также дислокационными брекчиями на юго-западе. Эти формации образуют антиклинальную складку на юго-западном крыле большей

[1] T. L. Tanton, старший геолог Геологической службы Канады.
[2] J. M. Harrison, геолог Геологической службы Канады.



Фиг. 4. Рудник Флин Флон; поверхностный и подземные планы.

1—рассеянные сульфиды; *2*—плотные сульфиды; *3*—пограничные интрузии; *4*—диориты; *5*—кварцпорфировые потоки, силли и рассланцованные эффузивы; *6*—трещиноватые эффузивы и сланцы; *7*—слабо трещиноватые эффузивы.

синклинали. Ось отмеченной антиклинали погружается в юго-восточном направлении. В результате движения формаций в северо-восточном крыле к верху и к югу возникли второстепенные складки волочения. В сводах и в мульдах складок волочения наблюдается интенсивное смятие. Рудные тела залегают в виде линз замещения вдоль северо-восточных крыльев этих складок волочения и оканчиваются у их сводов и мульд, погружаясь вместе с ними в юго-восточном направлении.

Здесь имеется два различных типа руды: а) массивные сульфиды и б) вкрапленные руды, состоящие главным образом из хлорита, талька и карбонатных сланцев, в которых рассеян в небольших количествах халькопирит. Для массивной сульфидной руды типично присутствие мелко- и среднезернистого плотного пирита с различным содержанием халькопирита и сфалерита. Халькопирит, как правило, встречается в виде рассеянных зерен и мелких прожилков, в то время как для сфалерита типична концентрация в виде длинных полос среди массивных сульфидов, что придает многим из них полосчатый вид. В участках, где полосчатость не проявлена, сфалерит встречается в виде мелких зерен, образуя срастания с халькопиритом. Полосчатость руды точно следует очертанию рудного тела.

Вкрапленная руда обычно встречается вдоль лежачего бока плотных сульфидных руд и образует резкий контакт с ними.

Кроме халькопирита и сфалерита массивная сульфидная руда содержит золото, серебро, мышьяк, свинец, селен, теллур, кадмий и кобальт. Эти второстепенные составные части отсутствуют во вкрапленных рудах.

Парагенезис рудных минералов, от наиболее ранних до наиболее поздних, выражается следующим рядом: магнетит, пирит, арсенопирит, кобальтин и пирротин, сфалерит и гринокит, халькопирит, кубанит, галенит, золото и теллуриды, тетраэдрит и энаргит. В руде не было обнаружено ни одного селенового минерала.

В 1946 г. было добыто 1 846 601 *т* руды со средним содержанием золота 2,63 *г/т*, серебра 37,4 *г/т*, меди 2,44% и цинка 5%.

На 1 января 1946 г. запасы руды официально оценивались в 26 000 000 *т*, со средним содержанием золота 2,52 *г/т* и серебра 35,4 *г/т*, меди 2,99% и цинка 4,24%. Официальных данных за 1948 г. опубликовано не было.

Завод электролитического цинка, принадлежащий компании, вырабатывает цинк очень высокого качества. Компания производит также рафинированный металлический кадмий.

Кроме главного рудника в Флин Флон, компанией разрабатывается два медно-цинковых месторождения: рудник Кьюпрус Майн, расположенный на расстоянии около 128 *км* к восток-юго-востоку от Флин Флон, и рудник Шист Лэйк, близ северной оконечности Стит Айленд, в 6 *км* к юго-юго-востоку от Флин Флон.

Рудник Мэнди, расположенный на расстоянии около 800 *м* к северу от Шист Лэйк, был важным источником получения цинка во время второй мировой войны. Разведанные запасы руды в этом руднике исчерпаны.

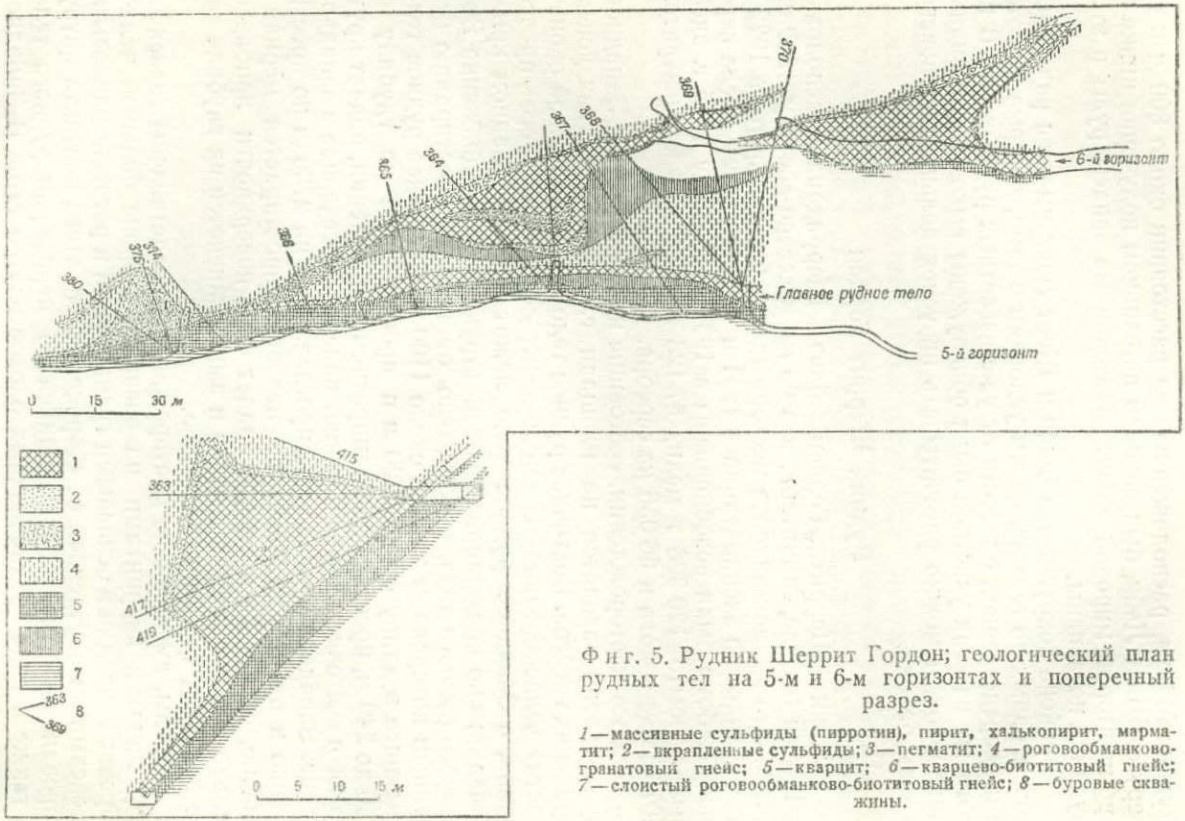
В районе вокруг Флин Флон и Шист Лэйк имеется ряд участков, сходных по геологическим условиям с теми, которые имеются в непосредственной близости от уже известных рудных тел. В некоторых из этих участков были обнаружены выходы сульфидных минералов, и можно рассчитывать на успех дальнейших поисков в этом районе.

Рудник Шеррит Гордон

Рудник Шеррит Гордон близ Шерридона расположен *в 160 км от Пас, Манитоба, и в 65 км к северо-востоку от Флин* Флон. Это медно-цинковое месторождение было открыто в 1922 г. и находилось в эксплоатации в 1931 и 1932 гг.; затем после перерыва работы были возобновлены в 1937 г. К концу 1945 г. здесь было добыто 120 308 *т* меди, 87 128 *т* цинковых концентратов, 2075,33 *кг* золота и 66 036 *кг* серебра.

Рудные месторождения, состоящие из Восточного и Западного рудных тел, находятся на площади сложно-складчатых докембрийских гнейсов. Восточное рудное тело лежит на южной оконечности челнообразной складки север-северо-западного простирания, а Западное рудное тело лежит на юго-западном крыле складки; оно представляет собой структурное продолжение Восточного рудного тела, но отделено от него по простиранию безрудным интервалом длиной около 1100 *м*. Восточное рудное тело, имеющее в длину около 2700 *м* и прослеженное на глубину от 150 до 240 *м*, простирается в широтном направлении, падает круто на юг в восточном конце и меняет падение на северное в западном конце. Западное рудное тело, прослеженное на 2700 *м* по простиранию и от 150 до 250 *м* по падению, простирается меридионально, склоняясь к северу, падает близ поверхности приблизительно под углом 40° к востоку и выполаживается на глубине как по падению, так и по склонению.

Породы, вмещающие месторождения, представлены гнейсифицированными кварцитами на внешней стороне большой челнообразной складки и основными гранатовыми и роговообманковыми гнейсами на внутренней ее стороне. Вдоль этого контакта интрудировал пегматит, обнажающийся по периферии рудного тела, а также в виде изолированных блоков внутри его. В Западном рудном теле наблюдались второстепенные рудные гнезда в пегматите, содержащие до полумиллиона тонн руды, причем они встречались в куполообразных выступах и ответвлениях висячего бока. Описываемые рудопроявления представляют собой месторождения замещения, тесно связанные с интрузией пегматита.



Фиг. 5. Рудник Шеррит Гордон; геологический план рудных тел на 5-м и 6-м горизонтах и поперечный разрез.

1 — массивные сульфиды (пирротин), пирит, халькопирит, мармагит; *2* — вкрапленные сульфиды; *3* — пегматит; *4* — роговообманково-гранатовый гнейс; *5* — кварцит; *6* — кварцево-биотитовый гнейс; *7* — слоистый роговообманково-биотитовый гнейс; *8* — буровые скважины.

Руда относительно крупнозерниста, обнаруживает переходы от массивной до вкрапленной. Из числа жильных минералов здесь встречаются в качестве реликтов первичной породы кварц, полевой шпат, роговая обманка, биотит, кальцит, тремолит, гранат и в незначительном количестве хлорит и серицит. Металлические сульфидные минералы в порядке распространения представлены пиритом, пирротином, халькопиритом, сфалеритом; в меньших количествах встречается чальмерсит. В небольшом количестве обнаружены золото и серебро. Сульфиды железа, повидимому, были отложены первыми, а затем они были частично замещены халькопиритом и сфалеритом, которые являются более или менее одновременными.

В октябре 1946 г. Восточное рудное тело было исчерпано. Полагают, что Западное рудное тело можно будет эксплоатировать в продолжение еще около трех лет, хотя и с пониженной интенсивностью, если не будет открыта новая руда. В первом квартале 1947 г. было обогащено 101 *т* руды. На 1 января 1947 г. запасы руды Западного рудника оценивались в 1 368 000 *т* при среднем содержании меди 2,60%, цинка 2,12%, золота 0,5942 *г/т* и серебра 17,262 *г/т*.

Залежь Боб Лэйк, расположенная в 5 *км* к северо-востоку от Западного рудного тела рудника Шеррит Гордон, представляет собой сходный тип пластового замещения, локализованного вдоль пегматитового силля. Пирротин здесь преобладает; содержание меди и цинка слишком низко для того, чтобы при существующих условиях здесь была возможной рентабельная эксплоатация.

Известны еще и другие месторождения сульфидного замещения в области вокруг Шерридона, но ни одно из них не содержит промышленной руды.

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

К. БЕРЕ[1], *А. ГЕЙЛ, мл., Е. МАК НАЙТ*[2]

ЦИНКОВЫЕ И СВИНЦОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОЛИНЫ МИССИСИПИ

Краткое содержание

Месторождения района Три-Стэйт — ведущей в отношении добычи цинка области Соединенных Штатов — залегают в Миссисипских отложениях в известняках и кремнистых породах формации Бун, а местами в перекрывающей формации Честер. Они распространены на площади 200 × 80 *км*. Известняки формации Бун подверглись воздействию растворов грунтовых вод: 1) в дочестерское время, 2) до отложения пенсильванских сланцев «Чероки» и 3) в послепенсильванское время (возможно, в меловой период и позже); это вызвало образование карстовых воронок и циркуляционных каналов. Слои залегают большей частью полого, хотя встречаются также неглубокие синклинальные и антиклинальные складки, простирающиеся преимущественно *в северо-восточном и северо-западном направлениях. Взаимосвязь между рудными* залежами и этими более крупными структурными образованиями ограничена и неопределенна; менее значительные местные, но, вероятно, одновременные деформации, обусловившие возникновение зон трещиноватости или скалывания, имели большое значение. В раздробленную таким путем породу вдоль каналов свободной циркуляции проникли растворы, из которых образовались сфалерито-галенитовые, доломитовые, джаспероидные рудные залежи. Некоторые из рудных залежей обнаруживают минералогическую асимметрию, образуя неправильные кольцеобразные зоны вокруг доломитовых ядер, с джаспероидной оболочкой на внешней стороне. Галенит обычно ассоциируется с джаспероидно-кальцитовой жильной породой.

В юго-восточном Миссури — основной свинцово-добывающей области Соединенных Штатов — залежи содержат галенит с марказитом, халькопиритом, зигенитом, сфалеритом и пиритом, образующими вкрапленность или массивные метасолятические тела, главным образом в нижней части доломита формации Боннтер (нижний кембрий). Главные сбросы простираются в северо-западном направлении, реже — в северо-восточном; мелкие трещины имеют север-северо-восточное и запад-северо-западное направления.

В округе Кентукки — Иллинойс, который является главным источником флюорита в Америке, разрабатываются северо-восточные жилы и пластообразные метасоматические залежи в Миссисипских известняках. Первичными минералами здесь являются: флюорит, кальцит, кварц, барит, галенит, сфалерит, *халькопирит, марказит и пирит. Основные силлы и дайки этого округа*, возможно, относятся к позднемеловой или раннетретичной эпохе; они моложе, чем флюоритовые жилы.

В Верхне-Миссисипском округе руды встречаются главным образом в нижней части доломита формации Галена, в доломите и известняке формации Декора и в верхней части формации Платтвилл; все они ордовичского возраста; местами небольшие количества руд были обнаружены в кембрийских и силлурийских формациях. Площадь эта расположена на пологой западной ветви Висконсинской дуги; она пересечена тремя асимметричными и, в об-

---

[1] C. H. Béhre, профессор экономической геологии Колумбийского университета.

[2] A. V. Heyl, E. T. Mc Knight, геологи Геологической службы США.

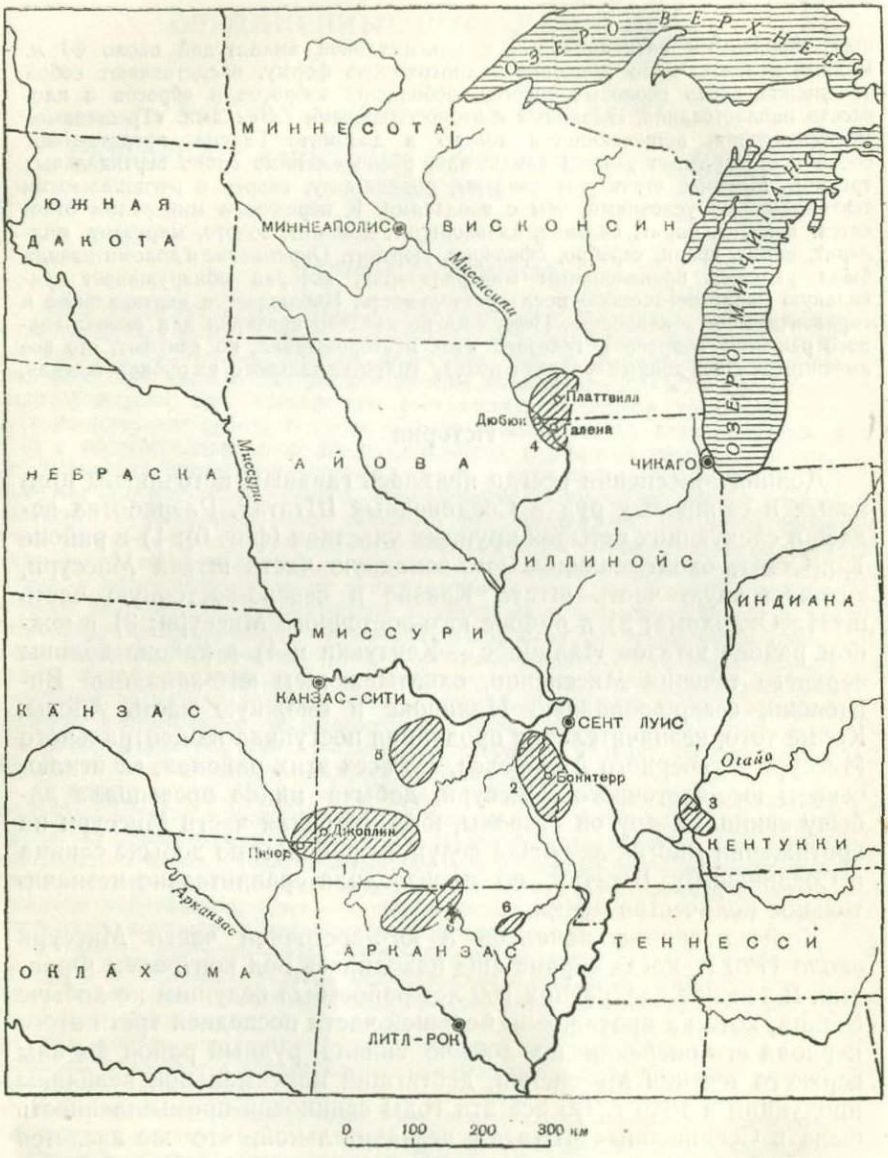
щем, широтными антиклиналями с максимальной амплитудой около 60 *м*. Рудные залежи, часто имеющие эллиптическую форму, представляют собой замещения вдоль сколовых трещин, небольших взбросов и сбросов в плоскости напластования, связанных с второстепенными складками. «Трещинные» месторождения, встречающиеся только в доломите Галена, представляют собой жилообразные залежи замещения, расположенные вдоль вертикальных трещин. Местные структуры связаны, повидимому, скорее с региональными тектоническими условиями, чем с оползнями. К первичным минералам относятся: анкерит, барит, кальцит, халькопирит, доломит, золото, марказит, миллерит, пирит, кварц, серебро, сфалерит, вюртцит. Окремнение и доломитизация были ранними проявлениями минерализации, которая обнаруживает правильную парагенетическую последовательность. Наблюдается вертикальная и горизонтальная зональность. Пока еще не найдено критерия для окончательного решения вопроса о генезисе этих месторождений, но считают, что все имеющиеся здесь данные говорят в пользу гидротермального их происхождения.

История

Долина Миссисипи всегда являлась главным источником цинковых и свинцовых руд в Соединенных Штатах. Разработка велась в следующих четырех крупных участках (фиг. 6): 1) в районе Три-Стэйт, охватывающем юго-западную часть штата Миссури, юго-восточную часть штата Канзас и северо-восточную часть штата Оклахома; 2) в районе юго-восточного Миссури; 3) в южном районе штатов Иллинойс — Кентукки и 4) в районе долины верхнего течения Миссисипи, охватывающем юго-западный Висконсин, северо-западный Иллинойс и смежную часть Айовы. Кроме того, незначительная продукция поступала из центрального Миссури и северного Арканзаса. Во всех этих районах, за исключением юго-восточного Миссури, добыча цинка превышала добычу свинца; с другой стороны, юго-восточная часть Миссури на протяжении многих лет была ведущим районом по добыче свинца в Соединенных Штатах, но производила сравнительно незначительное количество цинка.

Добыча свинца началась в юго-восточной части Миссури около 1720 г., когда страна еще находилась под контролем Франции. В течение следующих 150 лет район был ведущим по добыче свинца, хотя на протяжении большей части последней трети этого периода его опередил по добыче свинца рудный район долины верхнего течения Миссисипи, достигший максимальной величины продукции в 1845 г. Во все эти годы свинцовая промышленность была в Соединенных Штатах незначительной, что же касается цинковой промышленности, то последняя практически отсутствовала.

Вслед за открытием месторождений свинцовых вкрапленных руд в юго-восточной части Миссури в 1864 г. добыча в этом районе начала нерегулярно возрастать, что совпало с быстрым расширением продукции свинца в западных штатах. В начале текущего столетия район юго-восточной части Миссури занял ведущее



Фиг. 6. Карта распределения в долине Миссисипи районов, где производится добыча свинца и цинка.

1 — округ Три-Стэйт; *2* — округ юго-восточного Миссури; *3* — округ Южного Иллинойса—Кентукки; *4* — округ долины Верхней Миссисипи; *5* — центральный Миссури; *6* — северный Арканзас.

положение среди свинецпроизводящих районов Соединенных Штатов и удерживает его в настоящее время. Максимальная цифра добычи свинца — 188 000 *т* — была достигнута в 1925 г. Стремительное развитие цинковой промышленности в районе Три-Стэйт в значительной мере совпало с таким же развитием свинцовой промышленности в юго-восточном Миссури; на протяжении большей части лет, начиная с 1873 г., район Три-Стэйт стоит на первом месте по добыче цинка и в то же время на третьем или четвертом по добыче свинца; максимальная цифра продукции, полученная в 1926 г., составила приблизительно 424 000 *т* цинка и 102 000 *т* свинца. Районы долины верхнего течения Миссисипи и южных областей штатов Иллинойс — Кентукки являлись важными источниками цинка и свинца, хотя они и не превзошли в этом отношении два других указанных нами выше района.

Район Три-Стэйт [1]

Район Три-Стэйт является одной из немногих крупных рудных областей мира, давшей руды более чем на миллиард долларов (*Мартин, 1946*). Он не представляет компактного рудного района, но заключает несколько разобщенных центров добычи, расположенных в пределах широтной зоны протяжением около 200 *км* и шириной 80 *км*. Двумя наиболее крупными центрами добычи служат Джоплин, Миссури и Пичер, Оклахома, расположенные на расстоянии около 30 *км* друг от друга.

Свинцовая руда была открыта близ Джоплина около 1848 г. и с тех пор все время добывалась здесь и в других участках юго-западной части штата Миссури. Однако широкое развитие рудного дела в этом районе обязано наличию в нем не столько свинцовой, сколько цинковой руды, значение которой вначале недооценивалось; развитие рудного дела в этом районе совпало с ростом цинковой промышленности в Соединенных Штатах. С 1873 по 1917 г. включительно Миссурийская часть района Три-Стэйт занимала господствующее положение в цинковой промышленности США и, кроме того, обеспечивала большую добычу свинца. Истощение высокопроцентных руд и неблагоприятные условия рынка вызвали резкое сокращение добычи цинка в штате Миссури в 1918 г., но за это время рудничный участок Пичер в Оклахоме и рудные месторождения прилегающей части Канзаса (открытые около 1903 г. и интенсивно развивавшиеся после 1912 г.) стали настолько производительными, что к 1918 г. миссурийская часть месторождения Три-Стэйт заняла ведущее положение в добыче цинка, которое она с тех пор и сохраняет за собой.

[1] Е. Т. Мак Найт.

Стратиграфия. Месторождения Три-Стэйт залегают в формации Бун, а также местами в перекрывающих известняках и песчаниках группы Честер и в подстилающем сланце Нортвью — все эти породы относятся к миссисипскому возрасту. Небольшое количество руды встречается в покрывающих сланцах Чероки пенсильванского возраста и особенно в маломощных песчаниках, содержащихся в нижней части этой сланцевой толщи. Эти руды не имеют промышленной ценности; наличие их представляет интерес лишь для установления возраста оруденения, которое здесь относится к более позднему времени, чем низы пенсильванской толщи.

Формация Бун, сложенная известняками, кремнистыми и известково-кремнистыми («cottonrock») породами и сланцеватыми известняками, была подразделена Фаулером и Лайденом (Fowler, Lyden, 1932) на литологические единицы, многие из которых прослеживаются в разобщенных участках района Три-Стэйт, находящихся на большом расстоянии друг от друга. Рудные месторождения были найдены на всех стратиграфических горизонтах свиты Бун, т. е. на протяжении 100—120 *м*, но преимущественно встречаются они в определенных литологических единицах. Так, в центре рудного месторождения Пичер рудоносными являются два основных горизонта — пласт «М» и пласт «К» (по Фаулеру и Лайдену), залегающие несколько выше середины свиты Бун. Они представляют собой крупнозернистые криноидные известняки, содержащие многочисленные кремнистые прослои и желваки. Эти горизонты обычно имеют мощность 3—6 *м*, однако нижний из них (слой «М») местами может иметь мощность и значительно большую. Рудоносные горизонты разделены массивным пластом кремнистой породы мощностью 6—12 *м*, который обычно бывает безрудным, но может содержать и значительное количество руды вдоль плоскостей напластования и трещин, главным образом в его нижней части.

Часть свиты Бун, лежащая над основными рудоносными горизонтами, в общем характеризуется присутствием относительно мелкозернистых известняков и значительным развитием кремнистых пород, переслаивающихся местами с известняками или образующих массивные пласты. Массивные кремнистые слои могут переходить почти незаметно в известково-кремнистые породы. Руда встречается в верхней части свиты Бун в пределах рудоносных горизонтов или горизонтов, соседних с ними, причем большей частью она развивается в нижних слоях свиты.

Ниже главных рудоносных горизонтов свиты Бун залегает кремнистый горизонт Грэнд Фоллс мощностью 10—20 *м*, вмещающий низкопроцентные пластовые рудные залежи. Этот горизонт там, где он минерализован, состоит из кремнистой породы, содержащей подчиненные тонкие и более или менее линзообразные слои мелкозернистого известняка. В месторождении Пичер верхняя

часть толщи Грэнд Фоллс, имеющая максимальную мощность порядка 10 *м*, представляет собой массивную кремнистую породу, не содержащую известняка. Она безрудна или содержит очень небольшие количества руды. Этот горизонт образует почву большей части очистных работ в нижнем из главных рудоносных горизонтов (слой «М»).

Залегающий ниже известняковый горизонт Ридс Спринг в некоторых участках, главным образом в юго-западном Миссури, содержит руду. Он сложен чередующимися тонкими пластами кремнистой породы и мелкозернистого известняка.

Вследствие ярко выраженного несогласия у основания глинистых сланцев Чероки — базального горизонта Пенсильванской формации на этой территории — породы подстилающей группы Честер имеют прерывистое залегание и обнаруживают чрезвычайное разнообразие мощности даже в пределах небольших расстояний. Обычно наиболее минерализованной частью являются нижние 3—3,5 *м* перекрывающих их известняков формации Бун, варьирующих от среднезернистого до крупнозернистого сложения.

В рудном поле Пичер, расположенном в нижней части северо-западного склона купола Озарк, максимальная мощность толщи Честер и полная мощность формации Бун сохранились под покровом сланцев Чероки, обычно не превышающим мощности 30 *м*. Шахты расположены здесь на ровной прерии, причем большинство из них имеет глубину 30—90 *м*. На рудном поле Джоплин, а также на других минерализованных площадях в юго-западной части Миссури, расположенных выше рудного поля Пичер (как в структурном, так и топографическом отношении), породы Чероки и Честер сильно эродированы, за исключением останцов в больших карстовых воронках. При этом руда залегает на небольшой глубине, и иногда она первоначально обнаруживалась даже у корней трав. Общий рельеф здесь более холмистый, чем в рудном поле Пичер.

Грунтовые воды в миссисипских известняках. Формация Бун была приподнята и подверглась действию эрозии в дочестерское время и вторично — позднее, но ранее периода Чероки. Несомненно, формация Бун подвергалась дважды воздействию растворов подземных вод, но обычно не представляется возможным провести грань между этими двумя периодами эрозии. Известно, что во второй период эрозия была более интенсивной. Она обусловила значительное несогласие, и многие черты выщелачивания, наблюдавшиеся на глубине, могут быть с уверенностью приписаны именно ему. В месторождении Пичер карстовые воронки, обычно 30—60 *м* в поперечнике, на горизонте рудоносных пластов выполнены пластами вышележащих формаций Бун или Честер, смятыми и нарушенными, но обычно незначительно брекчированными. Эти

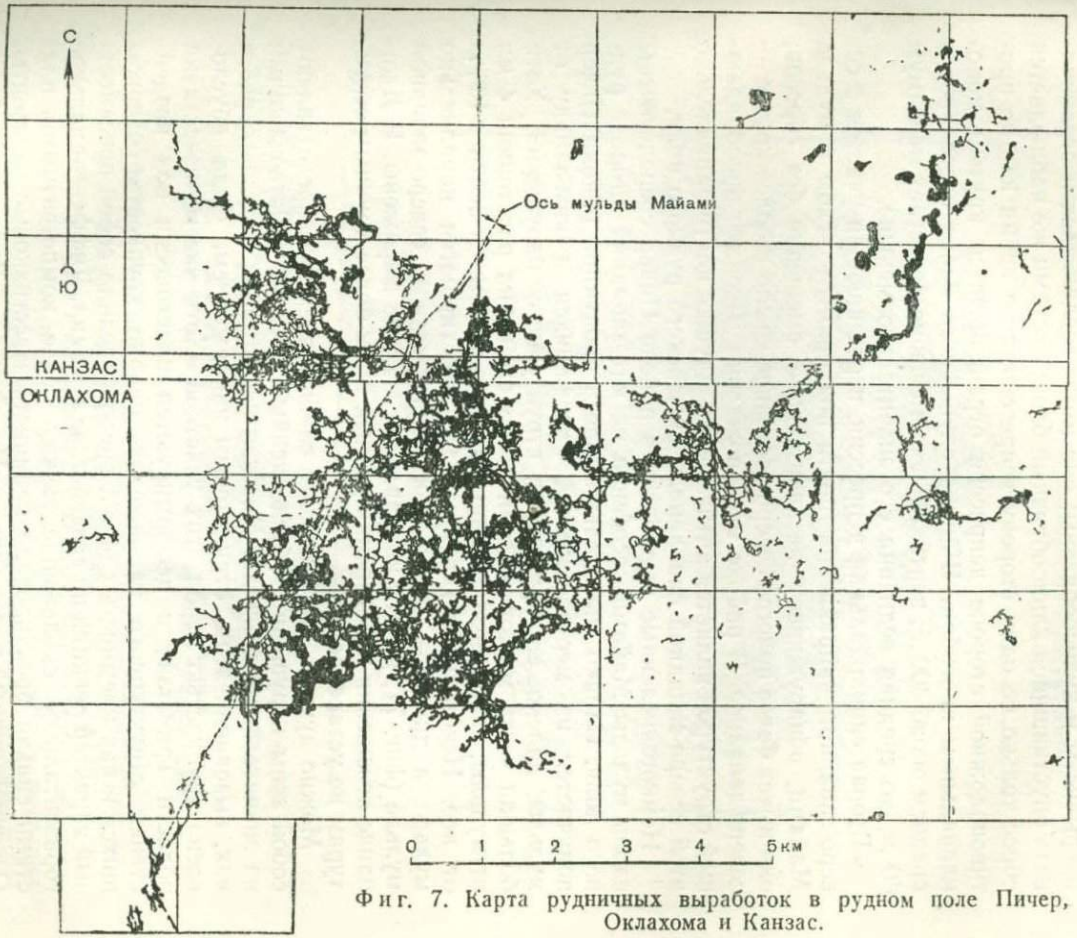
карстовые воронки в основном безрудны, они не имеют прямого отношения к окружающим рудным месторождениям и не оказывают на них явного влияния. Черный глинистый сланец Чероки обычно встречается на глубине в карстовых воронках, в диагонально секущих трещинах или межслойных полостях, особенно в основании главного рудного горизонта. Бóльшая часть этих сланцев первоначально отложилась в период Чероки и, таким образом, не является продуктом переотложения материала этой толщи. Об этом свидетельствуют тонкие отпечатки растений времени Чероки на плоскостях напластования отложений, выполняющих карстовые пустоты.

В юго-западном Миссури, там, где значительная часть глинистых сланцев Чероки, возможно, еще в меловую эпоху была уничтожена эрозией, влияние послечерокского растворения пород формаций Бун и Честер наложилось на явления выщелачивания более ранних эпох. Крупные массы сланца Чероки постепенно провалились в некоторые карстовые воронки, образовавшиеся во время этой эрозии.

Грунтовые воды не только внесли материал глинистых сланцев Чероки в различные горизонты свиты Бун, но и растворили известняки пластов Бун и Честер вдоль циркуляционных каналов, что способствовало накоплению как кремнистого материала, так и остаточной глины. Кремнистый материал в основном остался на месте, за исключением случаев его оползания, но некоторое количество глины, серого или зеленого цвета, было перенесено и переотложено в карстовых пещерах.

Хотя перемещенные глинистые сланцы и остаточные глины обычно и встречаются в месторождениях, но они не благоприятствуют отложению руды, так как не только занимают место более благоприятной для замещения известняковой породы, но к тому же еще закупоривают и защищают от воздействия более поздних рудных растворов остаточные блоки известняка, препятствуя их минерализации. Пространственная же связь этих продуктов выщелачивания с рудами объясняется приуроченностью и тех и других к участкам, проницаемым для растворов.

Структура. Пласты, содержащие рудные месторождения Три-Стэйт, в общем, залегают довольно полого, но наблюдаются местные изгибы и разломы, которые могут вызвать значительные смещения рудных слоев. Характерной структурной чертой района Пичер является мульда Майами — линейная синклинальная депрессия северо-восточного простирания (СВ 30°), пересекающая западную часть района (фиг. 7); эта структура закартирована на протяжении по меньшей мере 65 *км* в Оклахоме и Канзасе (Вейдман, 1932; Пирс и Куртье, 1937). В рудном поле на горизонте рудных зон эта депрессия представляет собой неправильное сочетание



Фиг. 7. Карта рудничных выработок в рудном поле Пичер, Оклахома и Канзас.

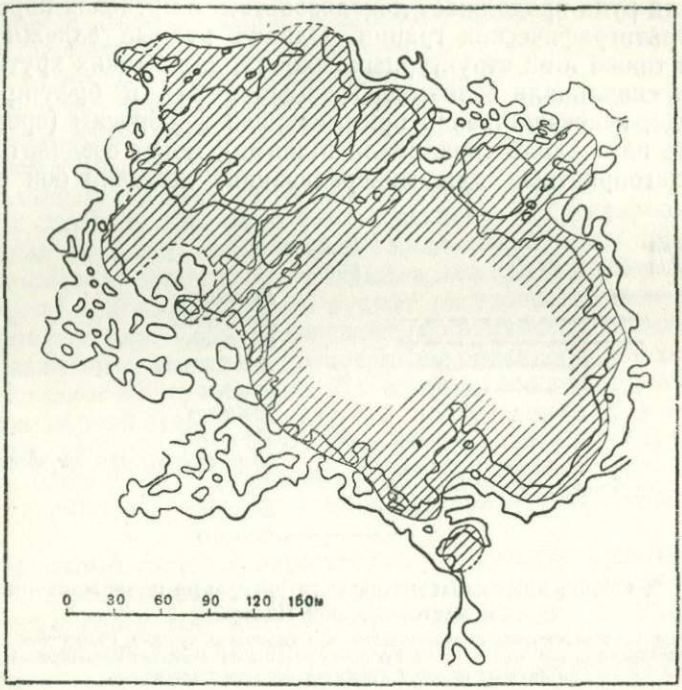
синклинали и грабена, причем ширина ее и амплитуда перемещения в разных местах различны. Ограничивающие сбросы грабена прерывисты и кулисообразны; они могут соединяться и ограничивать опустившийся клинообразный блок; местами же наблюдается сброс только по одну сторону депрессии, в то время как на противоположной стороне депрессия ограничивается крутым моноклинальным прогибом. Ширина опущенного блока составляет в среднем около 300 *м*; вертикальное смещение достигает максимум 60 *м*, но средняя величина его значительно меньше.

Вторая синклинальная депрессия, пересекающая участок в северо-западном направлении почти под прямым углом к мульде Майами, обнаруживает незначительное смещение без сбросов; она имеет более пологое северо-восточное крыло и более крутое — северо-западное. В районе месторождения Джоплин преобладающей структурой является антиклиналь, идущая почти параллельно этой северо-западной синклинали Пичерского рудного поля.

Немногочисленные выработки в районе Пичер сосредоточены вдоль мульды Майами, особенно на юго-западной стороне рудного поля. Однако значительная часть продукции района Пичер получается из месторождений, находящихся к юго-западу от мульды, далеко за пределами структурного нарушения. Хотя бóльшая часть месторождения расположена на расстоянии 4 *км* от мульды, наиболее отдаленные залежи находятся почти в 10 *км* от нее. Некоторые из рудных тел простираются параллельно мульде, а другие — параллельно сопряженной северо-западной мульде (фиг. 7), но эти направления ясно не выражены. В Джоплине отношения простирания рудных тел к более крупным структурам не установлены.

Можно думать, что эти более важные элементы представляют собой зоны нарушения, обусловленные силами, действовавшими на значительной площади. Местная деформация в рудных районах, вызванная этим структурным напряжением, была обусловлена хрупкостью пород этих участков. Хотя чистые известняки области Три-Стэйт и деформируются пластически под воздействием структурного напряжения, однако хрупкость содержащихся в них кремнистых пород предопределила собой повсеместный характер реакции на воздействие этих сил. Дифференциальное горизонтальное скольжение между более компетентными пластами сильно брекчировало кремнисто-известняковые горизонты. Основной рудный пласт (пласт «М», Фаулер и Лайден), залегающий между двумя массивными кремнистыми горизонтами и содержащий большое количество роговиковых прослоев, оказался более подверженным этому типу деформации. Даже слабое вертикальное искривление или дифференциальный горизонтальный надвиг блоков породы вызывали образование зон трещиноватости или

скалывания, обычно распространяющихся на несколько литологических единиц. Такие зоны обнаруживают небольшие смещения и мало постоянны как по направлению простирания, так и по



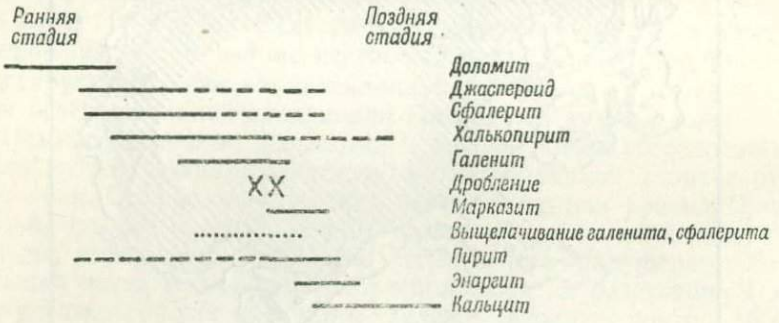
Фиг. 8. Карта федерального рудника Гордон в месторождении Пичер, показывающая отношение очистных забоев и границ доломитизированной площади.

Штриховкой обозначена доломитизированная порода в рудном пласте; непрерывная линия — точно установленная граница; пунктир — предполагаемая.

протяженности. Разрушенная и раздробленная порода, образовавшаяся в результате этих структурных движений, создавала исключительно благоприятные условия для проникновения в нее рудных растворов. Повторение трещинообразования, но в меньших размерах, имело место в конце периода отложения руды (фиг. 9).

Рудные месторождения. Формы рудных тел в Три-Стэйт несколько различаются между собой, в зависимости от того, в каких стратиграфических единицах они находятся. В большей части рудоносных пластов месторождения имеют линейное простирание вдоль крутых трещин или идут по извилистым каналам, по кото-

рым совершается передвижение растворов в раздробленной породе. Ввиду того что пласты обычно довольно пологие, подошва такого рудного тела, как правило, почти горизонтальна, причем кровля остается на более или менее постоянной высоте, при условии, если руда продолжает локализоваться в пределах определенных стратиграфических границ. Однако рудные залежи встречаются также и на структурных склонах, даже таких крутых, как крылья синклинали Майами. Трещиноватость и брекчирование в породе, непосредственно примыкающей к сбросам (вроде тех, которые идут вдоль синклинали Майами), могут создавать условия, благоприятные для минерализации; лежачий бок рудных



Фиг. 9. Обобщенная парагенетическая диаграмма цинково-свинцового месторождения Пичер.

Периоды кристаллизации, выщелачивания и образования трещин обозначены длиной горизонтальных линий или соответствующими условными знаками; прерывистые линии обозначают периоды второстепенной кристаллизации.

залежей, образовавшихся этим путем, обыкновенно является наклонным, что может быть объяснено либо падением пластов, либо переходом руды из одного горизонта в другой. Рудные тела, локализующиеся вдоль сбросов, прямолинейны; те же из них, которые контролируются менее резко выраженными структурными факторами, или факторами выщелачивания, могут быть неправильно изогнутыми или даже кольцеобразно расположенными вокруг ядра пустой породы.

В случае более благоприятных пластов минерализация может распространяться на более обширную площадь, причем возникают межпластовые тела с крайне неправильными очертаниями.

Пластообразные месторождения в кремнистом горизонте Грэнд Фоллс свиты Бун хотя и представляют собой низкопроцентные месторождения, но имеют большую ценность, поскольку они охватывают большую площадь, что удешевляет их эксплоатацию. Мощность их, как правило, не превышает 3—3,6 *м*, причем порода несколько брекчирована.

В юго-западном Миссури, во многих карстовых воронках, выполненных пластами Чероки, глинистые сланцы подстилаются остаточным кремнистым и глинистым материалом, содержащим свинцовые и цинковые руды. В месторождениях этого типа в окончательной подготовке благоприятных условий для отложения руды значительную роль должны были сыграть грунтовые воды, хотя возможно, что здесь растворам предшествовало такое трещинообразование и раздробление породы, которого в других местах оказалось достаточным для отложения руды.

Жильные и рудные минералы замещают известняк благоприятных пластов или выполняют трещины в брекчированных кремнистых породах, относительно мало затрагивая при этом сами кремнистые породы. Вертикальные или круто падающие системы трещин, локализовавшие рудные растворы, обычно видны в относительно слабо минерализованных кремнистых породах, но они не различимы там, где первоначальное брекчирование затушевано процессом минерализации. Дополнительное растворение известняков на этой стадии проявляется в образовании вблизи руды полостей с друзами кристаллов, или так называемой «валунной породы», состоящей из крупных кремнистых плиток и конкреций и представляющей результаты выщелачивания известняка.

Минеральный состав и парагенезис. Основными рудными минералами здесь являются сфалерит и галенит; жильная масса в основном слагается минералами — доломитом, кальцитом и жильной породой джаспероидом. Доломит образует две разновидности — массивные серые крупнозернистые агрегаты, образованные путем замещения исходного известняка, и кристаллы розового цвета (розовый шпат), выполняющие жилки и выстилающие пустоты. Обе разновидности имеют в основном одинаковое развитие, за исключением лишь того, что розовая разновидность распространена несколько шире серой. Джаспероид, имеющий серую, бурую и черную окраску и обычно легко отличимый от «первичной» кремнистой породы, представляет собой результат замещения известняка или более раннего массивного серого доломита. Рудные минералы встречаются в массивной жильной массе кремнистой породы в виде вкраплений, неправильных включений, удлиненных линз, жилок или выполнений пустот. Местами сфалерит почти нацело замещает массивные доломиты, причем возникают очень богатые руды; однако в большей части добытой в последнее время руды содержание рудных минералов составляло не более 3—5%. Пластовая руда, добывавшаяся в Джоплине в конце первой мировой войны, была даже еще более низкопроцентной; она содержала (в среднем за несколько лет до окончательного закрытия рудника) около 2,8% сульфидных минералов, что

эквивалентно приблизительно 1,4% металлического цинка и 0,4% металлического свинца.

Второстепенными сульфидными минералами являются марказит, халькопирит, пирит и энаргит; местами марказит становится главным сульфидным минералом. Энаргит широко распространен на участке Пичер, но всегда в небольших количествах и в виде мелких кристаллов. В качестве жильного минерала местами встречается барит.

На участке Пичер наиболее богатые сфалеритовые месторождения образуются путем замещения массивного серого доломита; вообще, повидимому, в тех частях месторождения, где встречается доломит, имеется тесная связь между сфалеритом и доломитом. Впрочем, сфалерит добывается также и из джаспероидной породы, иногда содержащей немного доломита. С другой стороны, галенит редко развивается по массивному доломиту; для него характерна ассоциация с джаспероидами и кальцитовыми жильными породами. Ассоциация халькопирита с розовым доломитом наблюдается почти всюду; энаргит встречается только в участках, содержащих халькопирит. Давно установленная «антипатия» халькопирита по отношению к галениту, повидимому, с большим основанием может быть отнесена за счет различного отношения того и другого к доломиту; там, где галенит встречается в пустотах среди розового шпата, он тесно ассоциирует с халькопиритом. Марказит встречается в наибольших количествах на галените или на других более ранних минералах. Этот минерал обычно присутствует в «валунной» породе, окаймляющей рудные тела; здесь он ассоциирует чаще всего с кальцитом и мелкокристаллическим сфалеритом.

Многие из рудных тел в минералогическом отношении асимметричны и приобретают неправильную кольцеобразную структуру, развиваясь вокруг доломитовых ядер (фиг. 8). По идеализированной схеме, внутренняя зона представляет собой массивный серый доломит, содержащий самые богатые сфалеритовые руды, а внешняя — джаспероид, относительно богатый галенитом и кальцитом, но содержащий меньшее количество сфалерита. Исходная кремнистая порода является постоянным компонентом как внутренней, так и внешней части. За пределами внешней зоны находится пустая «валунная» порода, содержащая марказит и кальцит с небольшим количеством очень мелкозернистого сфалерита. Далее залегают неизмененные известняки и кремнистые руды, не подвергшиеся воздействию минерализующих растворов. Мы располагаем небольшим числом разрезов через безрудное ядро, залегающее в центре кольцеобразной залежи, но эти немногочисленные разрезы позволяют предполагать, что в ядре имеет место максимальная концентрация остаточного кремнистого материала, сильно выщелоченного и уплотненного, с небольшим

количеством доломита в промежутках; здесь же встречаются тектонически перемещенные сланцы свиты Чероки, а иногда и остаточные глины из свиты Бун.

Порядок кристаллизации, в общем, соответствует смене минералов, наблюдаемой при проявлении горизонтальной зональности; обобщенная последовательность кристаллизации минералов в месторождении Пичер показана на фиг. 9. Взаимоотношения различных минералов не постоянны; повидимому, периоды кристаллизации минералов перекрывают друг друга. Так, хотя галенит в основном является более поздним, чем сфалерит, все же имеется много мест, где наиболее поздняя генерация сфалерита кристаллизовалась на кристаллах галенита.

Изучение полированных шлифов показывает, что халькопирит был в значительной степени замещен марказитом и пиритом и в меньшей — энаргитом. В значительно более позднюю стадию в некоторых местностях кристаллы энаргита были широко замещены колломорфным халькопиритом. Во время главной сульфидной стадии минерализации галенит, сфалерит и в меньших размерах халькопирит местами подверглись выщелачиванию, причем первые два были местами переотложены на корродированных ядрах. Характерным для этого выщелачивания является то, что оно не затронуло марказитовых корочек, которые первоначально имелись на кристаллах галенита и сфалерита. Некоторые пустоты, образовавшиеся вследствие выщелачивания в халькопирите, местами были выполнены более поздним галенитом.

Полагают, что руды были отложены гидротермальными растворами магматического происхождения.

Запасы. В 1931 г. Инголс подсчитал, что до окончательного своего истощения район Три-Стэйт даст еще 5 500 000 *т* металлического цинка и 1 000 000 *т* свинца. По общему признанию, это предположение было весьма оптимистическим, и на протяжении 30-х годов многие эксплоатационные работники округа указывали, что эти расчеты преувеличены. К концу 1947 г. фактическая добыча составила несколько более половины предполагаемого количества цинка и несколько менее половины свинца. Несмотря на применявшуюся во время войны и после нее систему премий, давшую возможность разрабатывать в США самые низкопроцентные цинковые руды, добыча начиная с 1941 г. падала от года к году главным образом вследствие истощения запасов. Однако, несмотря на это, область сохранила за собой ведущее положение среди цинкдобывающих районов при непрерывном понижении кондиций руды. Прекращение в июле 1947 г. выплаты государственных субсидий (премиальных цен) оказало особенно неблагоприятное влияние на добычу в районе Три-Стэйт благодаря предельно низкому кондиционному содержанию большей части добываемой там

руды. Для того чтобы обеспечить добычу всей остающейся низкопроцентной руды в месторождении Пичер и Джоплин, эксплоатационные расходы должны быть снижены очень сильно.

Проблема рудничной воды в этих месторождениях очень сложна; чем больше рудников забрасывается, тем бо́льшие трудности представляет откачка воды на тех рудниках, которые еще продолжают работать.

Несомненно, что высокая механизация, обеспечивающая максимальную окончательную добычу, может быть достигнута путем объединения владений в руках немногих крупных компаний, и такой конец, вероятно, и ожидает этот район. Представляется вероятным, что в течение продолжительного времени руда будет добываться из отдельных месторождений, расположенных за пределами главных площадей, связанных подземными выработками. Остается, однако, неясным, могут ли остающиеся запасы руды обеспечить добычу, равную той, которая была получена за 17 лет — с 1931 по 1947 г. включительно.

Округ юго-восточного Миссури

Помещаемый ниже краткий обзор в значительной своей части заимствован нами из работ Тарра (Tarr, 1936), Баклея (Buckley, 1909) и Уинслоу (Winslow, 1894).

Вкрапленные свинцовые месторождения, обусловливающие первенствующее значение района Миссури как источника свинца, расположены в основном в виде пояса приблизительно в 55 *км* длиной и в несколько километров шириной, идущего с северо-запада на юго-восток через области Сент Франсуа и Мэдисон. Они залегают в доломитах Боннтерр верхнекембрийского возраста, *главным образом* в нижнем 80-метровом слое, но в некотором количестве они встречаются и во всей 135-метровой толще. Доломиты — глауконитовые и песчанистые, особенно в нижней части. Они подстилаются мощным слоем базального песчаника палеозойского разреза, который залегает на погребенном рельефе докембрийских гранитов и риолитовых порфиров. Местами руды из оснований доломитов Боннтерр могут распространяться вниз, в верхнюю часть этого песчаника. Доломиты Боннтерр обнажаются местами в пределах свинцового пояса или перекрываются толщей безрудных известковых сланцев, — доломитов и известняков, *причем в зависимости* от степени эрозии мощность этой толщи колеблется, достигая местами 120 *м*.

К западу и северу от пояса вкрапленных свинцовых месторождений свинцовые руды встречаются в узких трещинах во второй доломитовой толще — Потоси — верхнекембрийского возраста, *залегающей приблизительно* на 120 *м* выше по разрезу доломитов Боннтерр. Хотя в настоящее время эти месторождения

имеют лишь небольшое значение, однако в прошлом они дали значительную часть продукции свинца Миссури — сначала из остаточных глин, образовавшихся вследствие выветривания месторождений, а впоследствии из узких штольневых разработок в доломите выше постоянного уровня грунтовых вод. В общем, эти месторождения содержат также много цинка, а один небольшой участок, расположенный в нескольких километрах к северу от пояса вкрапленных свинцовых залежей, дал из окисленных руд бо́льшую часть цинка, выработанного в юго-восточном Миссури.

Главный свинцовый пояс пересекается сбросом северо-западного простирания, обнаруживающим вертикальное смещение до 180 *м*. У своего северо-западного конца минерализованный пояс срезан сбросом северо-восточного простирания с несколько меньшей амплитудой смещения. Сбросы еще меньшей амплитуды (от десятков сантиметров до нескольких метров и лишь редко до 30 *м*), как правило, параллельны главным сбросам, но некоторые из мелких сбросов простираются также и в других направлениях. Вертикальные трещины, пересекающие всю толщу доломита Боунтерр или часть ее, имеют зигзаго- или дугообразную форму, но на горизонте залежей они обнаруживают тенденцию к простиранию в запад-северо-западном и север-северо-восточном направлениях. Обычно они образуют узкие зоны трещиноватости.

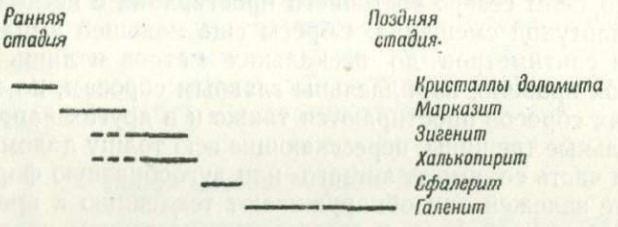
Рудоносные пласты залегают относительно полого, но неправильная слабая волнистость напластования, вероятно, сыграла важную роль в возникновении трещиноватости и других структурных условий, благоприятных для отложения руды. Близ погребенных докембрийских холмов углы падения по направлению в сторону от этих возвышенностей несколько более круты, чем в других местах. Иногда рудные залежи окружают эти холмы; это говорит за то, что структурные условия здесь были особенно благоприятны для отложения руды.

Рудоносные доломиты были проницаемы для движения подземных вод, и в них образовались многочисленные мелкие пустоты выщелачивания. Вдоль стилолитов и плоскостей напластования отложилось большое количество остаточного глинистого материала вследствие растворения известкового материала. Руда встречается либо в виде вкрапленности в доломите, либо в виде массивных месторождений замещения вдоль напластования, или же в виде прожилков или небольших выполнений пустот, причем эти разные типы отложения обычно встречаются совместно. Вкрапленный галенит дает больше руды, чем остальные типы. Хотя крупнозернистый доломит и более благоприятен для замещения, однако и более мелкозернистые типы также содержат вкрапленную руду; только пласты плотного доломита являются неблагоприятными. Рудные тела характеризуются широким горизонтальным протяжением, обычно без заметного удлинения в каком-либо

направлении, но в некоторых участках наблюдается удлинение параллельно направлению главных трещин.

Галенит является главным рудным минералом, и за последние годы добытая здесь руда давала 2,7—3% свинца. Второстепенные сульфидные минералы — марказит, халькопирит, зигенит, сфалерит и пирит. Побочные продукты — медь и цинк — получаются из халькопирита и сфалерита; в прошлом в области Мэдисон добывались кобальт и никель из зигенитоносных руд. Жильными минералами являются доломит, кальцит, кварц и диккит.

Нормальная парагенетическая последовательность сульфидных минералов в том виде, как она предлагается Тарром (1936),



Фиг. 10. Обобщенная парагенетическая диаграмма сульфидных минералов в свинцовом округе юго-восточного Миссури. (По Тарру.)

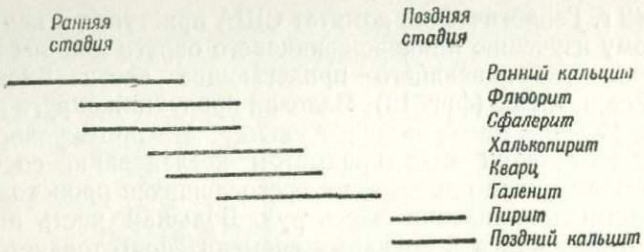
приводится на фиг. 10. Кварц, кальцит и диккит обычно относятся к более позднему времени.

Хотя минералы, как правило, обнаруживают одну и ту же последовательность, все же наблюдаются и отклонения, обусловленные перекрытиями, повторным отложением и замещением. Наиболее сложная последовательность кристаллизации после отложения галенита такова: 1) марказит или пирит, 2) пирит или марказит, 3) кристаллы кварца, 4) кристаллы доломита, 5) диккит, 6) кальцит. Однако эта поздняя серия не является обычной. Как правило, сульфиды имеют тенденцию встречаться скорее в виде самостоятельных обособлений, а не в виде срастаний, что осложняет задачу определения порядка кристаллизации. Тарр утверждает, что рудные растворы были магматического происхождения.

Главные компании, эксплоатирующие месторождения в юго-восточном Миссури, не опубликовали данных о размерах своих запасов. Однако, по мнению геологов и инженеров, исследовавших эти месторождения, запасов может здесь хватить на много лет при существующих в настоящее время размерах эксплоатации. Тарр констатировал в 1936 г., что район этот еще содержал огромные запасы промышленной руды.

Округ Кентукки — Иллинойс

Флюоритовые месторождения этого района, расположенные по обоим берегам реки Огайо в западном Кентукки и южном Иллинойсе, можно подразделить на два типа: 1) жилы, приуроченные к сбросам, секущим известняки Миссисипи, и 2) пластовые замещения определенных стратиграфических горизонтов известняков свиты Миссисипи. Оба эти типа могут содержать и сфалерит и галенит; после 1939 г. пластообразные месторождения замещения южного Иллинойса приобрели большое значение в добыче свинца и цинка. Залежи расположены в почти горизонтально залегающих пластах на крыле купола, обрезанного сбросом; степень минерализации, повидимому, здесь во многих местах находится в зависимости от второстепенных флексур и связанных с ними трещин



Фиг. 11. Обобщенная парагенетическая диаграмма жильных месторождений округа Иллинойс—Кентукки. (По Бастину.)

северо-западного и северо-восточного простирания. Рудные тела вытянуты, как правило, параллельно осям этих местных флексур. Главная сбросовая зона, окаймляющая рудоносную площадь, простирается в северо-восточном направлении и обнаруживает смещение в 150 *м*.

Основными рудными и жильными минералами для всего округа являются флюорит, кальцит, кварц, барит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит и пирит. Бóльшая часть сульфидоносных руд была вскрыта так недавно, что с геологической стороны руды еще не изучены. На основании исследования флюоритовых залежей Кюрьер (Currier, 1944) утверждает, что флюорит последовал за кальцитом и частично заместил его в жилах, приуроченных к сбросам; за флюоритом последовали (с некоторым перекрытием) и частично его заместили сульфидные минералы. Кварц появился частично одновременно с флюоритом, но отложение его продолжалось в несколько более позднюю стадию. Наблюдается поздняя генерация кальцита, образованная на флюоритовых кристаллах.

Бастин (1931, 1939) установил различия минерального состава между жилами и месторождениями замещения и, в общем, считал, что сульфиды значительно перекрывают период кристаллизации флюорита. Так, он полагает, что в жильных отложениях сфалерит, самый ранний из сульфидов, откладывался одновременно с флюоритом (фиг. 11). Бастин рассматривает барит как поздний вторичный минерал.

Кюрьер, как и другие авторы, полагает, что руды здесь магматического происхождения. Встречающиеся в пределах округа лайки и силли основных изверженных пород (возможно, позднемелового или раннетретичного возраста) являются более ранними, чем флюоритовые жилы.

Округ долины Верхней Миссисипи [1]

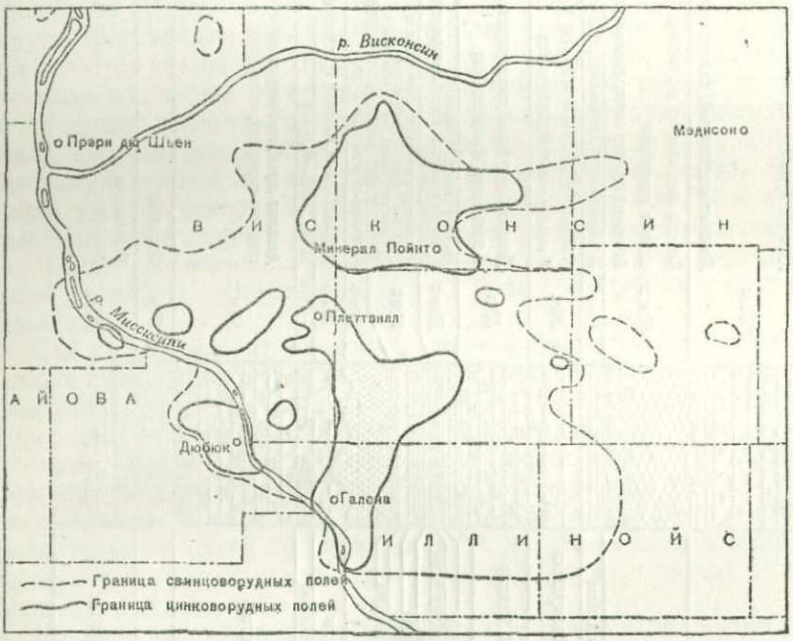
В 1942 г. Геологический комитет США приступил к повторному детальному изучению цинково-свинцового округа долины Верхней Миссисипи, охватывающего прилегающие части Висконсина, Иллинойса и Айовы (фиг. 12). Валовая продукция округа в 1945 г. *достигла 17 500 т цинка и 2000 т свинца.* На протяжении целого столетия этот округ был предметом исследования со стороны многих выдающихся геологов, интересовавшихся происхождением и причинами локализации здесь руд. Бóльшая часть новейших данных, относящихся к военному времени, подготовляется в настоящее время к печати.

Стратиграфия. Руды находятся главным образом в формациях ордовикского возраста, но местами в небольших количествах свинец был найден также в подстилающих кембрийских и в перекрывающих силурийских отложениях (фиг. 13).

За исключением тонкослоистого, несколько глинистого верхнего горизонта, рудоносная толща представлена обычно однородным крупнозернистым доломитом Галена — от бурого до серого цвета; иногда встречаются тонкие прослои глинистых сланцев — от серого до коричневого цвета, а также кремнистые зоны и пласты массивного доломита, содержащие *Receptaculites oweni.* Верхний горизонт формации Декора, так же как и вышележащий горизонт Галена, слагается пластами серого крупнозернистого доломита («серыми пластами», как их называют рудокопы) с тонкими прослоями зеленых глинистых сланцев; двухметровый слой в основании этого горизонта обычно содержит обильные зеленые сланцевые прослойки («голубые» пласты, по выражению рудокопов). Средний горизонт формации Декора, известный под местным названием «нефтяная порода», представлен тонкослоистыми, волнистыми розовыми, почти литографскими известняками (содер-

[1] Гейл, мл., и Бере, мл.

жащими фауну) с прослоями коричневых известковых сланцев; в нижней части этого горизонта встречаются фосфорсодержащие конкреции. Самый нижний член формации представлен светло-зелеными глинистыми сланцами, заключающими тонкие прослои известняков с фауной; в основании его залегает маломощный пласт метабентонита. В верхней части нижележащей формации

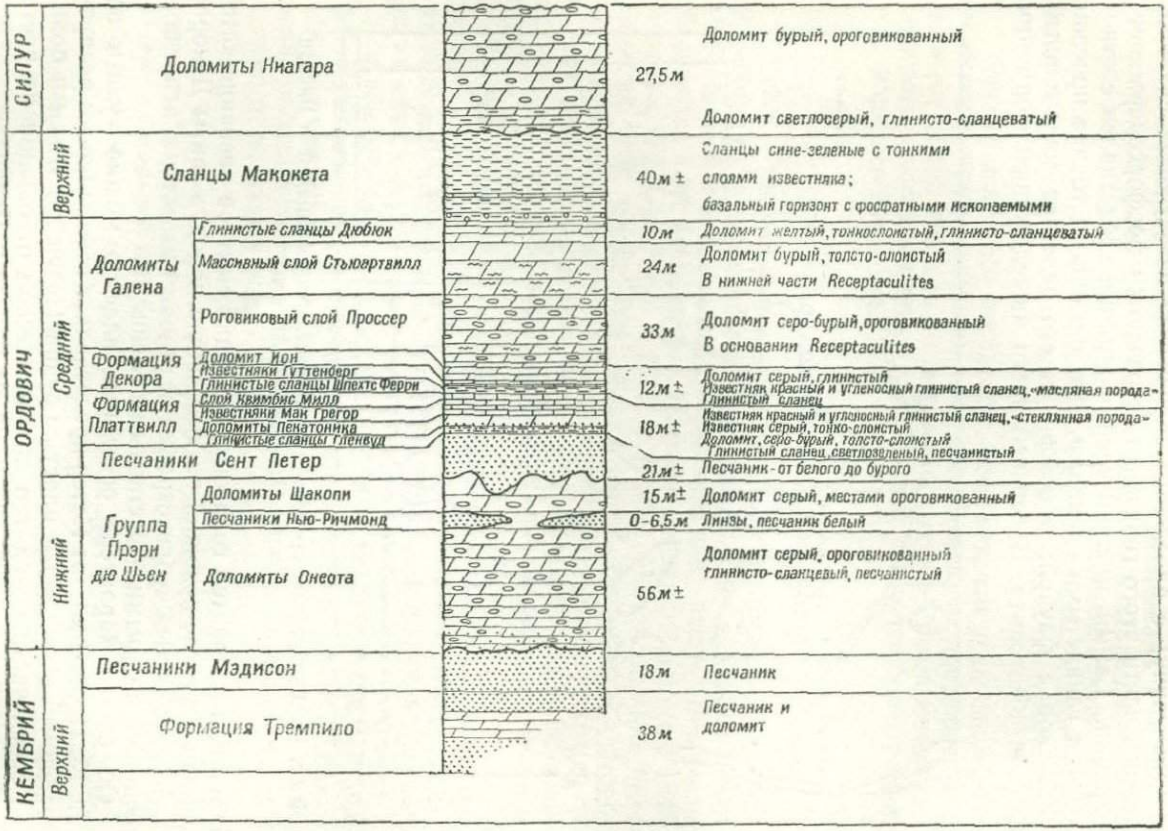


Фиг. 12. Распределение главных продуктивных площадей в Висконсине, Иллинойсе и Айове.

Платтвилл находится горизонт, имеющий местное название «стеклянная порода», похожий на «масляную породу» свиты Декора; это тонкослоистый сублитографский розовый известняк, переслан*вающийся* с бурыми известковыми сланцами.

Об общем характере остальных пластов можно судить по фиг. 13. Песчаник Сент Петер представляет собой широко распространенный водоносный пласт. Группа Прэри дю Шьен в большей своей части походит в литологическом отношении на часть профиля, относящуюся к формациям Галена и Декора.

Наибольшее число месторождений цинка находится в нижней части доломита Галена, в формации Декора и в верхней половине формации Платтвилл. Свинцовые месторождения трещинного типа встречаются только в доломите Галена. Небольшие



Фиг. 13. Обобщенная стратиграфическая колонка свинцово-цинкового округа долины Верхней Миссисипи.

месторождения свинца, цинка и меди встречаются вдоль северной границы района в группе Прэри дю Шьен; известняк Сент Петер кое-где пиритизирован непосредственно под вышележащими цинковыми месторождениями.

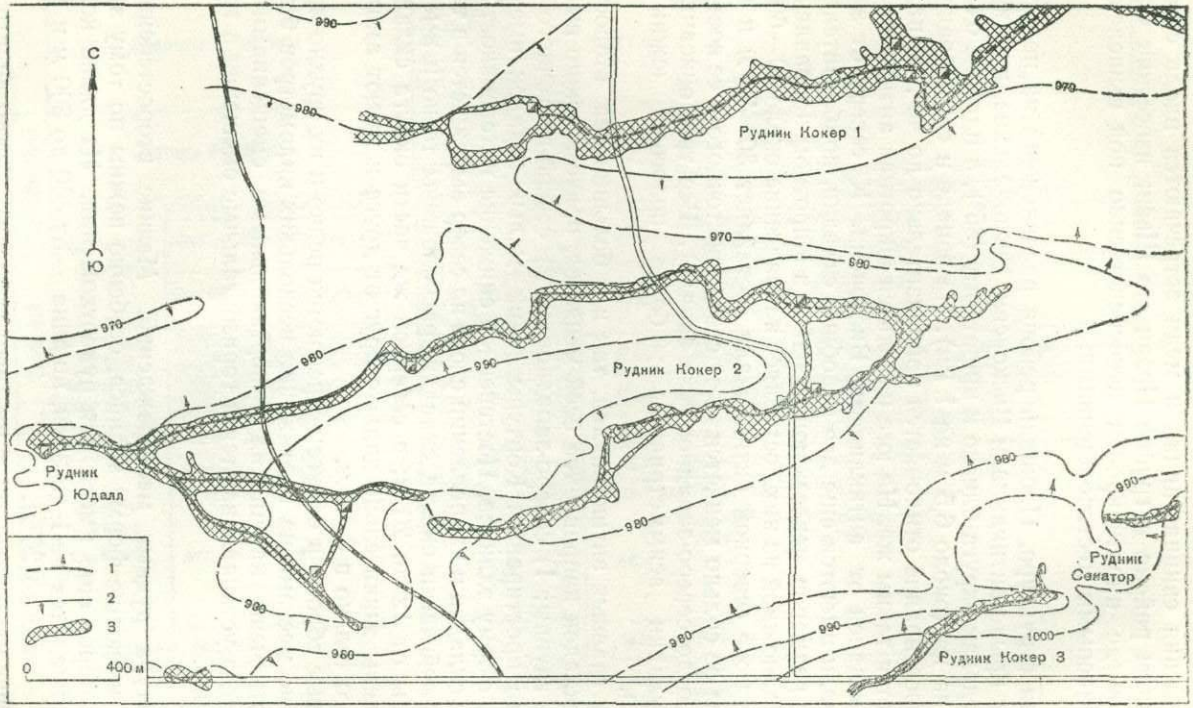
Общая структура. Площадь района расположена на пологом западном крыле антиклинали Висконсин. Региональное простирание в пределах округа близко к широтному (85°), а падение очень пологое на юг (около 6,5 *м* на 1 *км*). На западе и северо-западе округа простирание отклоняется приблизительно до 45°, но падение остается таким же. На юге находится широтная антиклиналь, ответвляющаяся от антиклинали Висконсин. К северу от этой антиклинали имеются еще две подобные складки, приблизительно таких же размеров, пересекающие район в широтном направлении (амплитуда южной из них составляет направление около 30—60 *м*, амплитуда же северной антиклинали составляет 30—50 *м* и направление ее сильно меняется — от северо-восточного в ее восточном конце до северо-западного на западе). Все три описанные выше складки асимметричны, с более пологими южными крыльями.

Как у главных антиклиналей, так и у большинства второстепенных складок направление осей меняется, причем можно выделить две группы: 1) северо-западного и 2) северо-восточного до широтного простирания. Контуры таких малых складок имеют, в общем, форму эллипса. Постепенное снижение интенсивности и размеров складок в направлении с юга на север выражается в том, что в южной части округа складки расположены тесно и имеют амплитуды от 12 до 20 *м*; в северной же части округа складки расположены значительно дальше друг от друга и имеют амплитуды всего только в 3—6 *м*.

Крупные сбросы в округе встречаются редко и их трудно проследить, но местами на протяжении нескольких километров были все же отмечены нарушения с вертикальными смещениями до 15 *м*; иногда устанавливаются и горизонтальные смещения в этих нарушениях.

Структура рудных месторождений. Мелкие второстепенные складки, имеющие форму эллипса, особенно важны по тому значению, которое они имели для рудоотложения. Их длина колеблется в пределах от 1 до 3 *км*, ширина — от 400 до 800 *м* и амплитуда — от 5 до 20 *м*.

Отношение оруденения к местным складкам можно видеть на примерах рудных тел Кокер Майн близ Миффлин, Висконсин (фиг. 14). Общее простирание рудных тел — СВ 70°, т. е. параллельное оси более крупной синклинали, в которой они залегают. Кокер № 1 залегает вдоль северного, а Кокер № 3 — вдоль



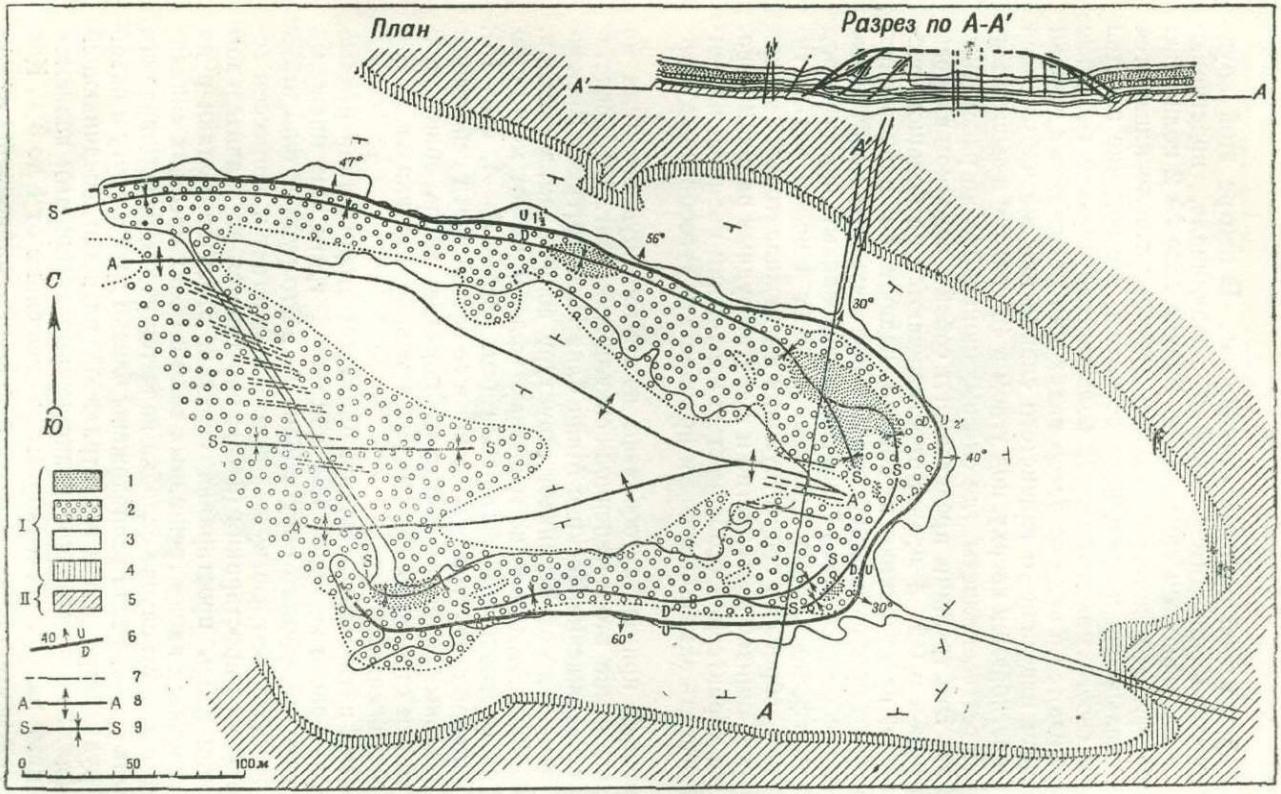
Фиг. 14. Структура и рудные тела на руднике Кокер, близ Миффлин, Висконсин.

1—наклонный сброс; *2*—горизонтали почвы доломита Галена; *3*—рудные тела.

южного крыла этой крупной синклинали. В центре этой крупной депрессии находится пологая антиклиналь, простирающаяся параллельно оси синклинали. Рудное тело № 2 полностью окружает эту антиклиналь. Все эти рудные тела локализуются в зонах скалывания и трещиноватости, там, где падение пластов достигает своего максимума. В большинстве случаев сколовые зоны начинаются в виде согласно падающих межслойных трещин на контакте пластичного глинистого сланца нижней части слоев Декора и загибаются кверху, под углом в 45°, заходя в вышележащие компетентные пласты, где они выклиниваются на расстоянии 7,5—15 *км*. Эти трещины представляют собой в основном взбросы со смещением в 0,3—3 *м*; они прослеживаются на большом расстоянии по простиранию и обычно падают по направлению к структурно приподнятым блокам. Сопутствующие межслойные трещины и сбросы, обычно тоже минерализованные, известны под названием «флецы». Зона скалывания несет в целом черты, типичные для взбросов и сопутствующих им межпластовых нарушений, встречающихся повсеместно и в других рудных районах мира. Наиболее характерной особенностью нарушений является их тенденция огибать замки складок и приобретать дугообразные очертания.

Типичный пример дугообразно изогнутого рудного тела на восточном замке второстепенной синклинали (фиг. 15) представляет месторождение Хоскинс Майн близ Нью-Диггинс, Висконсин. Рудное тело оконтуривает структуру вокруг замка складки. Здесь наблюдаются пологие трещины — флецы, имеют место смещения по плоскости напластования (см. разрез *А—А*, фиг. 15); синклинальная структура осложнена в ее осевой части небольшим антиклинальным поднятием второго порядка; вдоль общей центральной оси структуры наблюдаются мелкие вертикальные трещины растяжения.

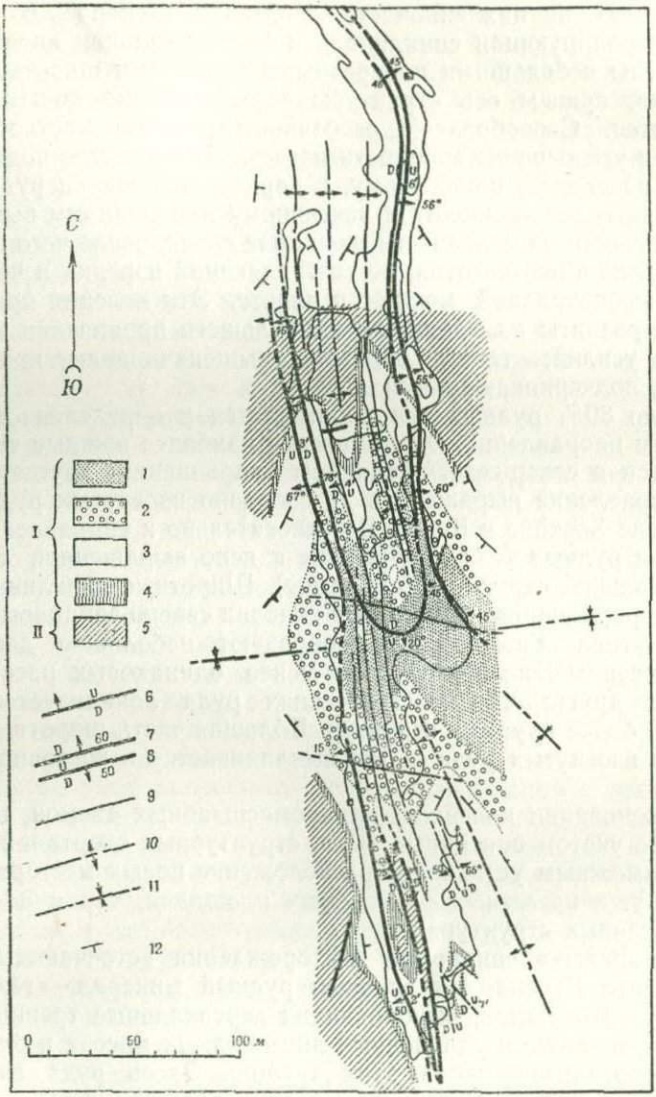
Грэхэм-Гинте Майн является примером второго типа рудных тел, характерного не менее чем для одной трети всех цинковых месторождений данного округа (фиг. 16). Это рудное тело имеет скорее прямую, чем изогнутую, форму и залегает в депрессии северо-западного простирания (345°); оно тянется на значительном расстоянии вдоль простирания складки. Здесь опять-таки руда концентрируется вдоль трещинных зон на обоих крыльях синклинали; но в данном случае складка является узкой, вследствие чего оба крыла рудного тела расположены близко друг к другу и пятна убогой руды встречаются в центральной площади, соединяющей оба крыла. Здесь снова контролирующими трещинами являются межслойные нарушения и взбросы со смещением от 1 до 3 *м*. Как и в других местах, взбросы здесь падают по направлению к приподнятым частям структуры и, постепенно выполаживаясь, переходят у их основания в согласно падающие нарушения вдоль



Фиг. 15. Геология месторождения Хоскинс, Нью-Диггинс, Висконсин, план и разрез.

В плане геологические данные спроектированы на плоскость, проходящую на 1,2 *м* выше подошвы рудника.

1 — „серые" пласты; *2* — „голубые" пласты; *3* — „масляная" порода; *4* — „глинистые" пласты; *5* — „стеклянная" порода; *6* — опрокинутая складка; *7* — вертикальные трещины; *8* — ось антиклинали; *9* — ось синклинали. *I* — формация Декора; *II* — формация Платтвилл.



Ф и г. 16. План рудника Грэхэм-Гинте; изображено типичное удлиненное рудное тело, протягивающееся в северо-западном направлении.

1 — „серые" пласты; *2* — „голубые" пласты; *3* — „масляная" порода; *4* — „глинистые" пласты; *5* — „стеклянная" порода; *6* — сброс (*U* — поднятое; *D* — опущенное крыло); *7*, *8* — горсты; *9* — вертикальные трещины; *10* — ось антиклинали; *11* — ось синклинали; *12* — простирание и падение пластов.

I — формация Декора; *II* — формация Платтвилл.

некомпетентной нижней части формации Декора. В деталях рудоконтролирующая синклиналь и ее центральная антиклиналь осложнены небольшими поперечными складками широтного простирания, причем ось структуры соответственно подымается и опускается. Своеобразной особенностью этого месторождения является уменьшение мощности известковых пластов под воздействием растворов, повидимому, в период отложения руды. Действие растворов приводит к частичному или полному выщелачиванию извести из более известковистых слоев, после чего остается только глинистый остаток, не составляющий изредка и четвертой доли первоначальной мощности пласта. Эти явления преимущественно развиты на площадях наибольшего проявления тектонических усилий; таким образом, выщелачивание производит эффект, подчеркивающий складчатость.

Около 80% рудных тел простирается в определенном и постоянном направлении. Экономически наиболее важные тела простираются в север-северо-западном направлении; другое широтное направление выражено в дугообразно изогнутых рудных телах, вроде Хоскинс и Кокер. Безотносительно к направлению простирания рудные тела приурочены к ясно выраженной сложной синклинальной структуре (см. выше). Широтные синклинали, местами пересекающие рудоносные складки северо-западного направления типа Грэхэм-Гинте, образуют небольшие депрессии, расположенные на более или менее одинаковых расстояниях друг от друга; в этих депрессиях руда локализуется вдоль крыльев более крупных структур. Бóльшая часть широтных дугообразно изогнутых рудных тел выклинивается в восточной своей части.

На основании новейших крупномасштабных съемок, произведенных с учетом описанных выше структурных очертаний, оказалось возможным установить расположение новых месторождений как на уже известных рудоносных площадях, так и в недавно обнаруженных структурах.

«Трещинные» свинцовые месторождения встречаются только в доломите Галена. Их главный рудный минерал — галенит — встречается в жилах, выполняющих вертикальные трещины скалывания, а также в удлиненных линзовидных массах в благоприятных горизонтах вдоль этих трещин. Здесь руда замещает породу и, повидимому, выполняет также пустоты, образовавшиеся ранее вдоль трещин под воздействием процесса выщелачивания. Наблюдаются случаи, когда несколько таких линзовидных залежей находятся одна над другой в благоприятных горизонтах вдоль одной и той же трещины. Отдельные минерализованные трещины часто можно проследить на расстоянии значительно более 1,5 *км*; они простираются почти всегда в одном и том же направлении; чаще всего в направлении СЗ 290°.

Происхождение региональной и местной структур. Региональная структура, местные структурные формы и характер трещиноватости главных рудных тел, повидимому, обусловлены региональным тектоническим сжатием. В пользу ранее существовавшей теории влияния местных провалов и карстов на рудоотложение говорит лишь подчеркивание первичных тектонических черт явлениями растворения.

Ниже приводим вкратце факты, подчеркивающие, что региональная тектоника является основным фактором образования местных структурных форм: 1) Региональные и местные структурные формы по своему характеру близко соответствуют друг другу и настолько правильны, что не могут быть отнесены к тем незакономерным формам, которые обычно наблюдаются при местном оползании. 2) Все главные системы трещиноватости и бо́льшая часть второстепенных систем относятся ко времени, предшествовавшему отложению минералов, и возникли прежде выщелачивания карбонатных пород, хотя некоторые более слабые движения и имели место в период отложения руд; трещины послерудного времени здесь почти не встречаются. Таким образом, отложение руды имело место в конце периода деформации, и мы видим здесь нормальное положение вещей. 3) Описанные выше первоначальные сбросы в плоскости напластования сыграли главную роль в процессе локализации рудных тел, причем они возникли явно под действием бокового сжатия. 4) Рудоносные сбросы окаймляют складки и таким образом связаны с формами, которые вряд ли можно отнести на счет оползания. 5) Характерной региональной чертой является убывающее сжатие и удивительно быстро уменьшающаяся степень деформации в направлении с юга на север как в случае складок, так и в случае сбросов. Эта черта типична для тектонической деформации. 6) Процесс растворения ограничивается участками, расположенными близ главных сбросов, где силы сжатия должны были быть наиболее выраженными и где более мелкая трещиноватость представлена наиболее обильно; крупные пустоты и карстовая брекчия — обычные спутники открытых пустот выщелачивания — отсутствуют на участках, отличающихся интенсивной минерализацией, где, наоборот, трещиноватость очень частая.

Судя по общему характеру структуры, активной тектонической силой здесь, повидимому, являлось региональное одностороннее давление в направлении СВ 20°. Эта деформация должна была происходить под относительно маломощным покровом; под ее действием раннепалеозойские породы были прижаты к докембрийским породам фундамента территории, расположенной к северу, причем образовались складки и сбросы. Можно допустить также наличие здесь местного, не выходящего на поверхность упора фундамента в пределах северной главной антиклинали.

Смятие самой северной антиклинали вокруг этого местного стабильного блока могло послужить причиной разложения общей силы, действующей в направлении СВ 20°, на две одновременно действующие составляющие север-северо-западного и северо-восточного направлений.

Время деформации нам точно неизвестно, но все же можно определенно сказать, что оно относится к послесилурийскому или, весьма возможно, к позднему палеозойскому или к послепалеозойскому периоду.

Минералогический состав рудных месторождений. Минералогический состав руд относительно прост. К числу известных здесь первичных минералов относятся: анкерит, барит, кальцит, халькопирит, доломит, галенит, золото, марказит, миллерит, пирит, кварц, серебро, сфалерит и вюртцит. Мышьяково-кобальтовый минерал, еще не идентифицированный, но, вероятно, состава CoAsS или $CoAs_2$, присутствует в виде тонких прорастаний с марказитом; предполагается также наличие первичного марганцового сульфида. Из числа элементов, имеющихся в рудах в небольших количествах, можно назвать: кадмий, германий, молибден и цирконий. Содержание серебра в галените колеблется в пределах от 2,8 до 56 *г/т*.

Минерализующие растворы не только оказали выщелачивающее действие на карбонатные породы, но на ранних стадиях еще и способствовали окремнению и доломитизации пород, причем окремнение произошло раньше. Известковые породы в пределах рудных тел и по соседству с ними местами нацело изменены в массивный кремень или доломит при самом незначительном изменении их внешнего вида. Но в большинстве случаев известковые породы замещаются лишь частично. Еще более интенсивное окремнение и вторичная доломитизация наблюдаются местами в некоторых рудных месторождениях в подстилающей формации Прэри дю Шьен.

Минералы рудных месторождений идут в правильной парагенетической последовательности (фиг. 17). В простых полосчатых жилах ранние минералы находятся у стенок; но и там, где жилы подверглись повторному приоткрыванию вдоль центра или по зальбандам во время рудоотложения, последовательность хотя и кажется сложной, все же в основном остается правильной. Галенит встречается здесь, как правило, в виде крупных кубических кристаллов; сфалерит и марказит — чаще всего в виде полосчатых или концентрически-натечных конкреций радиально расположенных кристаллов, указывающих на коллоидный характер осаждения. Сфалерит по внешнему виду напоминает вюртцит, и есть основания предполагать, что значительная часть ZnS первоначально была отложена в виде вюртцита.

Здесь наблюдаются как вертикальная, так и горизонтальная зональность. Галенит преобладает в верхних горизонтах, сфалерит — на больших глубинах. Содержание доломита и кремнезема с глубиной возрастает. Никелевые и мышьяково-кобальтовые минералы были найдены только в более глубоко залегающих месторождениях.

Наблюдается также и региональная (горизонтальная) зональность руд. Свинец встречается в больших количествах на пери-



Фиг. 17. Парагенетическая последовательность первичных рудных и жильных минералов, округ Верхней Миссисипи.

ферии района, цинк — на обширном центральном участке (фиг. 12). Медь, барий, никель и мышьяк, повидимому, независимо от структурных условий, наиболее обильны в восточно-центральной зоне шириной 20 *км*, простирающейся через весь район в северо-западном направлении вне видимой связи со структурными чертами района.

Происхождение руд

До последних лет держалось широко распространенное мнение, что руды описываемого района были отложены холодными нисходящими или артезианскими водами. Но до настоящего времени еще не имеется данных, которые окончательно подтвердили бы метеорную, артезианскую или гидротермальную гипотезы.

Наилучшие, хотя все же не вполне убедительные современные данные указывают на то, что руды были отложены гидротермальными растворами с температурами, вероятно, не выше 100° С. Ниже приводим некоторые из наиболее убедительных доводов в пользу этого предположения: 1) Данные растворимости делают предположение об отложении нисходящими растворами наименее вероятным, как это было доказано Ньюхаузом (1933) и Гаррелсом (Garrels, 1941). 2) Отложение руд происходило одновременно с поздними стадиями региональной тектонической деформации — отношения, обычно наблюдаемые в районах с рудами гидротермального происхождения. 3) Минералогический состав руд более сложен, чем это предполагалось первоначально, так как рудные растворы несли не только ионы свинца и цинка, но и значительные количества бария, меди, серебра, никеля, мышьяка, кобальта, кремния и магния. Трудно себе представить, чтобы некоторые из этих элементов, в химическом отношении столь непохожих друг на друга (например, серебро и барий, мышьяк и цинк), концентрировались и отлагались вместе метеорными водами на одной и той же ограниченной площади. 4) Наблюдающаяся здесь парагенетическая последовательность и зональность характерны для рудных отложений, которым всеми приписывается гидротермальное происхождение. 5) Месторождения в долине Верхней Миссисипи не ограничиваются доломитом Галена или горизонтом вышележащих «подпруживающих» сланцев, как это предполагалось ранее; они локализовались главным образом вдоль ясно различимых сбросов и трещин и распределялись, во всяком случае в некоторой степени, во всех известных вскрытых пластах — от верхнего кембрия до силура.

ЛИТЕРАТУРА

Bain H. F., Zinc and lead deposits of the upper Mississippi Valley. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 294, 1905.

Bastin E. S., The fluorspar deposits of Hardin and Pope Counties, Illinois. *Ill. Geol. Survey, Bull.* 58, 1931.

Bastin E. S. и др., Contributions to a knowledge of the lead and zinc deposits of the Mississippi Valley region. *Geol. Soc. Amer.*, Special Paper No 24, 1939.

Behre C. H., Jr., The Upper Mississippi Valley lead-zinc district. Ore deposits as related to structural features (Ed. by W. H. Newhouse), Princeton, 220, 1942.

Behre C. H., Jr., Scott E. R. and Banfield A. F., The Wisconsin lead-zinc district, preliminary paper. *Econ. Geol.*, **32**, 783, 1937.

Buckley E. R., Geology of the disseminated lead deposits of St. Francois and Washington Counties. Mo. Bur. Geol. and Mines, 9, 1909.

Cox G. H., Lead and zinc deposits of northwestern Illinois. *Ill. Geol. Survey, Bull.* 21, 1914.

Currier L. W., Geology of the Cave in Rock district, Hardin County, Illinois. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 942, 1944.

Emmons W. H., The origin of the sulphide ores ot the Mississippi Valley. *Econ. Geol.*, **24**, 256, 1929.
Fowler G. M. and Lyden J. P., The ore deposits of the Tri-State district. *Am. Inst. Min. and Metall. Engrs., Trans.*, **102**, 206, 1932.
Fowler G. M., Lyden J. P., Gregory F. E. and Agar W. M., Chertification in the Tri-State (Oklahoma—Kansas—Missouri) mining district. *Am. Inst. Min. and Met. Engrs., Trans.*, **115**, 106, 1935.
Garrels R. M., The Mississippi Valley type lead-zinc deposits and the problem of mineral zoning. *Econ. Geol.*, **36**, 729, 1941.
Grant U. S., Lead and zinc deposits of Wisconsin. *Wis. Geol. Survey, Bull.* **14**, 1906.
Ingalls W. R., World survey of the zinc industry. Mining and Metallurgical. Society of America, New York, 1931.
Martin A. J., Summarised statistics of production of lead and zinc in the Tri-State (Missouri — Kansas — Oklahoma) mining district. U. S. Bur. Mines, Information Circular 7383, 1946.
Newhouse W. H., The temperature of formation of the Mississippi Valley lead-zinc deposits. *Econ. Geol.*, **28**, 744, 1933.
Pierce W. G. and Courtier W. H., Geology and coal resources of the south-eastern Kansas coal-field. *Geol. Survey of Kansas, Bull.* **24**, 1937.
Ridge J., The genesis of the Tri-State zinc and lead ores. *Econ. Geol.*, **31**, 298, 1936.
Smith W. S. T. and Siebenthal C. E., Description of the Joplin district U. S. Geol. Survey, Geologic Atlas, Joplin folio (No 148), 1907.
Tarr W. A., Origin of the south-eastern Missouri lead deposits. *Econ. Geol.*, **31**, 712, 832, 1936.
Weidman S., Miami-Picher zinc-lead district. University of Oklahoma Press, 1932.
Willman H. B. and Reynolds P. R., Geologic structure of the zinc-lead district of northwestern Illinois. *Ill. Geol. Survey, Rept. Investig.*, 124, 1947.
Winslow A., Lead and zinc deposits. *Missouri Geol. Survey*, **7**, part 2, 1894.

А. БРОКАУ[1]

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЦИНКОВОГО РАЙОНА ВОСТОЧНОГО ТЕННЕССИ

Краткое содержание

Промышленные цинковые месторождения расположены в нижней половине известняковой толщи Кингспорт (нижний ордовик) в Аппалачской долине — области надвигов и интенсивной складчатости. Рудные залежи включают: 1) замещения и брекчиевые выполнения, в общем согласно залегающие с напластованием, 2) замещения вдоль сбросов. Месторождения первого типа связаны с второстепенными антиклиналями и синклиналями, пересекающими региональную структуру. Рудные минералы представлены здесь сфалеритом, доломитом, кварцем и пиритом. Месторождения этого района по колебанию содержания в руде галенита, барита и флюорита можно разделить на три географические группы. Первым этапом минерализации тут была доломитизация, причем доломит был выборочно замещен сульфидоносными растворами.

Цинковые месторождения района Восточного Теннесси находятся в складчатых и нарушенных сбросами известняках и доломитах кембрийского и нижнеордовичского возраста, выходящих на поверхность в той части долины Аппалачей, которая находится в штате Теннесси (фиг. 18). Восточную границу составляет надвинутый блок Грэйт Смоки Маунтин, сложенный докембрийскими и кембрийскими метаморфическими и изверженными породами большой мощности. Плато Кумберленд, сложенное карбоновыми осадочными образованиями, образует западную границу района.

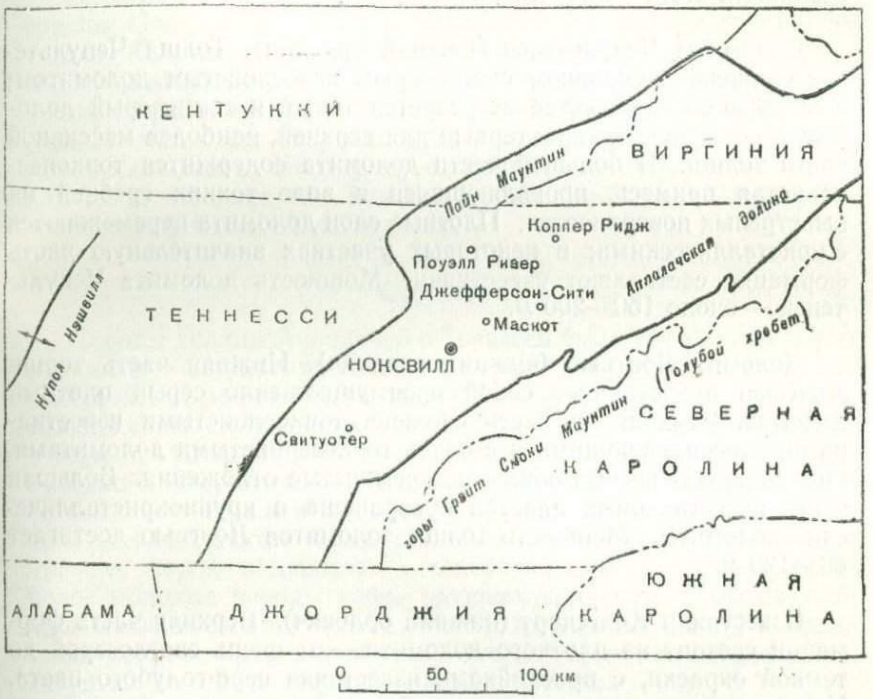
Стратиграфия рудоносных площадей

За исключением одного небольшого массива слюдяного перидотита, район слагается породами осадочного происхождения — от нижнекембрийского до верхнемиссисипского возраста. Нижнекембрийские породы преимущественно кластические, они выходят на поверхность только в юго-восточном крае Аппалачской долины. Доломит Шэди, включающий два цинковых месторождения, является единственной карбонатной формацией этого возраста в северо-восточной части территории. Широко распространены в районе породы среднего и верхнего кембрия и ордовича, причем наиболее важными из них являются известняки и доломиты группы Нокс, подстилающие более половины долины. Силурийские, девонские и миссисипские породы представлены четырьмя

[1] A. L. Brokaw, геолог Геологической службы США.

узкими полосами обнажений. Общая мощность обнаженных пород в долине составляет около 3500 *м*.

Группа Нокс (Knox) верхнекембрийского и нижнеордовикского возраста подразделена на пять формаций (Одер, 1945; Бридж, 1945), а именно от древних к молодым: доломит Коппер



Фиг. 18. Схематическая карта основных рудных округов Восточного Теннесси (обозначены кружками).

Ридж, доломит Чепультепек, доломит Лонгвью, известняк Кингспорт и доломит Маскот. Ввиду исключительно важного значения группы Нокс для экономики района мы даем подробное ее описание. Новейшие и наиболее важные работы по геологии цинковых районов Восточного Теннесси приводятся в конце нашей статьи.

Доломит Коппер Ридж (верхний кембрий). Толща Коппер Ридж сложена темным кристаллическим массивным доломитом, переслаивающимся довольно равномерно с горизонтами светло-зеленого тонкослоистого плотного доломита. Окраска его — от буроватой до черной — обусловлена присутствием асфальтового

материала, составляющего значительную часть породы; породы этого типа образуют обычно только около половины формации, кремнистые желваки и прослои встречаются по всей формации. При выветривании появляется большое количество кавернозной кремнистой породы, составляющей значительную часть остатка. Мощность этого доломита равна примерно 300—375 *м*.

Доломиты Чепультепек (нижний ордович). Толща Чепультепек сложена в основном светлосерым яснослоистым доломитом; в небольшом количестве встречается также и темносерый доломит, в особенности характерный для верхней, наиболее массивной части толщи. В большей части доломита содержится тонкопесчанистая примесь, проявляющаяся в виде тонких гребней на выветрелых поверхностях. Плотные слои доломита перемежаются с кристаллическими; в некоторых участках значительную часть формации составляют известняки. Мощность доломита Чепультепек — около 150—200 *м*.

Доломит Лонгвью (нижний ордович). Нижняя часть толщи Лонгвью представляет собой преимущественно серый плотный доломит. Верхняя ее часть сложена тонкослоистыми известняками, переслаивающимися с очень тонкозернистыми доломитами. Она содержит весьма обильные кремнистые отложения. Бóльшая часть известняковых пластов превращена в крупнокристаллические доломиты. Мощность толщи доломитов Лонгвью достигает 60—120 *м*.

Известняки Кингспорт (нижний ордович). Верхняя часть формации состоит из плотного доломита — от очень светлосерой до темной окраски, с прослойками известняка серо-голубого цвета. Ниже залегает горизонт плотных бурых или серо-голубых известняков, местами переслаивающихся доломитами от серой до черной окраски; мощность этого горизонта — около 30 *м*. Ниже известняка залегает пласт серого и темносерого мелкозернистого доломита, мощность которого колеблется в пределах от 2,5 до 9,0 *м*. Этот пласт подстилается бурым известняком мощностью 7,5 *м*. Известняк Кингспорт был подразделен дополнительно Одером (1945) и др.[1]. Мощность доломитов Кингспорт равна 90—120 *м*.

Доломиты Маскот (нижний ордович). Толща Маскот состоит из кремнистого и мергелистого доломита — от светло- до темносерой окраски, с прослойками плотного бурого известняка. Нижняя часть формации характеризуется присутствием многочислен-

[1] Неопубликованные данные Геологической службы США.

ных слоев песчаника с известковой или кремнистой основной массой. Толща Маскот является самой молодой формацией группы Нокс и вместе с тем самой молодой породой бикмэнтаунского возраста. Она несогласно перекрывается породами возраста Чэзи. Мощность толщи Маскот составляет 150—200 *м*.

Цинковая минерализация наблюдается в различных частях группы Нокс, в частности в формациях Коппер Ридж, Чепультепек и Кингспорт, но только в известняке Кингспорт добыча оказалась рентабельной. На всех действующих в настоящее время рудниках района руда добывается именно из этой формации. Два рудных тела были вскрыты в верхней известковой части толщи глинистых сланцев Ноличуки, подстилающей толщу Нокс. В породах более молодых, чем Бикмэнтаунские, не было найдено руды, имеющей промышленное значение.

Структура

Породы долины Аппалачей в Теннесси были интенсивно деформированы в результате воздействия орогенических сил в позднепалеозойское время. Силы эти действовали главным образом по направлению с юго-востока и вызвали смятие осадочных пород в серии складок, оси которых обычно ориентированы перпендикулярно к направлению давления. Там, где складкообразование не выявило сокращения, достаточного для того, чтобы ослабить напряжение, складки были разломаны и большие массы более древних пород надвинуты в северо-западном направлении на более молодые породы вдоль крупных надвигов. Интенсивность проявления надвигов очевидна в тектонических окнах, в надвиговом покрове Грэйт Смоки Маунтин и взбросовом покрове Пайн Маунтин на северо-западной стороне долины.

В общем, структура пород, подстилающих Аппалачскую долину, отличается от структуры Грэйт Смоки Маунтин: в Аппалачской долине плоскости надвигов падают более круто на юго-восток и надвинутые блоки имеют меньшее горизонтальное смещение. Выходы на поверхность пород одинакового возраста в виде узких параллельных поясов характерны для большей части Восточного Теннесси и являются результатом проявления круто падающих надвигов. К юго-западу от Ноксвилля структура характеризуется сжатыми складками и сбросами, имеющими бо́льшую протяженность, чем это наблюдается на территории, расположенной к северо-востоку, где складки открытые и сбросы имеют в длину всего лишь 15—30 *км*. На территории Поуэлл Ривер часть взбросового блока Пайн Маунтин образует дно долины; здесь слои сложены в широкую антиклиналь.

Хотя породы в долине и подверглись интенсивной деформации, однако признаков метаморфизма здесь имеется мало. Кливаж

в глинистых сланцах и структура течения в известняках встречаются очень редко.

Второстепенные структурные формы ассоциируются с региональными складками и сбросами. Новейшее детальное картирование на современной картографической основе показывает, что эта взаимосвязь проявляется чаще, чем предполагалось раньше. С этими второстепенными структурами тесно связано образование рудных месторождений данного района. Важное значение имеют здесь разрывные нарушения, сдвиги с небольшим смещением и мягкие складки северо-западного простирания, пересекающие региональную складчатость. Местами встречаются складки и сбросы разного направления, обычно связанные с более крупными структурными элементами.

Рудные месторождения

История разработок. Разработка цинковых руд в Восточном Теннесси началась впервые лишь в 1854 г. на руднике Мосси Крик близ Джефферсон Сити, хотя цинковые минералы были здесь открыты за много лет до того. Количество цинка, добытого в этом округе с 1854 по 1913 г., было невелико, причем добыча производилась спорадически; попытки получения цинка из окисленных рудных тел были немногочисленны и неудачны. Только после того как в 1913 г. были начаты крупные работы в Маскот, округ стал важным источником снабжения страны цинком. С этого времени добыча руды непрерывно возрастает, и в настоящее время его производительность определяется запасами более чем в 800 050 *т* цинка. Максимум продукции — 43 971 *т* металла — был достигнут в 1942 г. Почти вся добыча приходится на территорию Маскот — Джефферсон Сити. В 1947 г. в этом районе было пять действующих рудников.

Извлечение цинка должно здесь в будущем значительно возрасти по сравнению с добычей за последние 30 лет. По сделанным подсчетам, запасы цинка в этом районе достаточно велики для того, чтобы он в будущем мог стать одним из ведущих цинковых районов в США.

Форма рудных залежей. Среди рудных тел месторождения можно различать два типа: 1) месторождения замещения, более или менее согласные с напластованием в крупнокристаллическом доломитизированном известняке, сопровождаемые брекчией заполнения в мелкозернистом доломите; 2) месторождения замещения вдоль сбросов, сопутствуемые брекчией и выполнением трещин на небольшом расстоянии от сбросов. Характерными примерами первого являются крупные цинковые рудные тела на участке Маскот — Джефферсон Сити — Коппер Ридж и барито-

вые месторождения округа Свитуотер. Ко второму типу относится бóльшая часть рудников и разведываемых месторождений в округе Поуэлл Ривер.

Вертикальная протяженность месторождений пластового замещения может ограничиваться одним пластом или охватывать несколько пластов, в зависимости от местных структурных условий. В плане эти месторождения обнаруживают более или менее неправильную, обычно явно удлиненную форму. Все рудные тела и отдельные скопления приурочены к зонам доминерализационной деформации, проявившейся в образовании второстепенных антиклиналей и синклиналей, пересекающих региональную структуру. Линейное направление рудных скоплений генетически связано с направлением осей этих складок. Руда может встречаться в любой части структуры, но максимальная ее концентрация обычно наблюдается на сводах антиклиналей и в мульдах синклиналей. Руда, отложившаяся в антиклиналях, обладает большей мощностью, чем руда, отложившаяся в синклинальных участках. При приближении к границам деформированного участка интенсивность брекчирования и трещиноватости слабеет и соответственно понижается степень концентрации руды. Можно сказать, что любой изгиб пластов в дорудный период создавал оптимальные условия для отложения руды. Простая моноклинальная антиклиналь, небольшая антиклиналь и небольшая синклиналь представляют собой благоприятные в этом отношении структуры.

Сбросы, встречающиеся на площади крупных месторождений замещения, неблагоприятны для образования рудных столбов. Как правило, они были слишком плотно сомкнуты, чтобы рудоносные растворы могли распространяться в стороны. Однако брекчирование, сопутствующее сбросам, и ассоциированные складки волочения создают среду, благоприятную для образования хороших рудных тел.

Рудоносная зона известняка Кингспорт составляет нижнюю половину формации. Породы состоят из серии перемежающихся известняков и доломитов; тип трещиноватости в породах, вовлеченных в структурную деформацию, непосредственно определяется компетентностью отдельных пластов. Пласты доломита хрупки и легко разламываются, давая большие массы мелкотрещинной брекчии с небольшим смешением или вращением обломков. Размеры обломков колеблются в пределах от сантиметра и менее и до более чем 1 *м* в диаметре. Предполагают, что бóльшая часть брекчии этого типа получилась в результате складкообразования и сопутствующего ему движения в плоскости напластования. Размеры и содержания рудных тел в брекчии пропорциональны объему пустот, образовавшихся механическим путем во время структурной деформации; объем этот несколько изменен

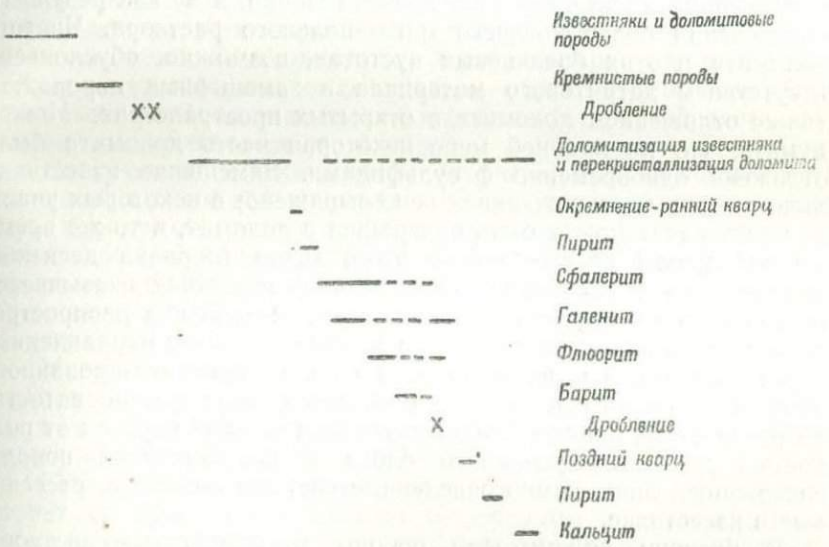
благодаря замещению минерализующими растворами краевых частей обломков.

В противоположность брекчированному доломиту, известняки обнаруживают тенденцию к текучести, подобно тому как это наблюдается у пластических материалов, когда они подвергаются действию деформирующей силы. В интенсивно-складчатых пластах пустоты, образовавшиеся во время деформации, оказались закупоренными вследствие истечения известняковых пластов, между тем как на слабо изогнутых участках трещины, образовавшиеся одновременно со складками, остались открытыми; благодаря этому создались условия для проникновения магнезиальных растворов, заместивших известняки, а затем и рудоносных растворов, заместивших доломитизированные массы.

Трещинные месторождения округа Поуэлл Ривер дали очень небольшую часть общей продукции Восточного Теннесси, но тем не менее они имеют важное значение, так как существует предположение, что они представляют собой трубы, отходящие от более крупных тел замещения, которые, возможно, имеют место в залегающих ниже благоприятных доломитовых известняках. Сбросы, локализующие эти месторождения, обладают большим углом падения и небольшим смещением, в редких случаях превышающим 15 *м*. Иногда смещение было почти горизонтальным, а иногда имеется ясно выраженный диагональный сбросо-сдвиг. Образование сбросов, по всей вероятности, связано с региональным надвигом.

Лучшие рудные тела находятся там, где эти сбросы пересекают благоприятный известняковый горизонт среди глинистых сланцев Ноличуки. В этих пластах возникают массивные метасоматические руды, преимущественно замещающие доломитизированный известняк, однако и в доломитах местами встречаются оруденелые брекчии и трещины, заполненные рудой. Сбросовые месторождения в перекрывающих доломитах нижней части группы Нокс представлены большим количеством мелких рудников и разведочных объектов. Рудные столбы обладают большим протяжением по вертикали, ширина их составляет в среднем около 6 *м* и мощность — около 1 *м*; они обычно примыкают к южным стенкам сбросовых плоскостей. Самая богатая и наиболее концентрированная руда имеется в участках перегибов плоскостей сбросов. Изменения углов падения наблюдаются часто, и там, где происходит выполаживание или увеличение угла падения сбросовых плоскостей, увеличивается и мощность руды. Призальбандовые зоны относительно маломощны, и лишь в некоторых разведочных выработках было отмечено значительное замещение вдоль них. Окремнение вдоль плоскостей сбросов наблюдается повсеместно, но далеко в окружающие коренные породы оно не проникает.

Минеральный состав и парагенезис. Минеральный состав руд сравнительно прост. Рудными минералами являются сфалерит и местами в небольших количествах галенит в ассоциации с пиритом, баритом, флюоритом, гидротермальным доломитом, кварцем и кальцитом. По минеральному составу месторождения могут быть подразделены на три общие географические группы, из которых каждая характеризуется своей особой минеральной ассоциацией. В месторождениях, расположенных на юго-запад от Ноксвилля (баритовый пояс Свитуотер), встречаются в порядке



Фиг. 19. Обобщенная парагенетическая диаграмма цинковых месторождений Восточного Теннесси.

убывающего количества: барит, сфалерит, флюорит, пирит, галенит, кальцит и кварц. К северо-востоку от Ноксвилля (район Маскот — Джефферсон Сити — Коппер Ридж) руды состоят преимущественно из сфалерита с небольшой примесью пирита и кварца. Руда в округе Поуэлл Ривер, расположенном к северу от Ноксвилля, содержит сфалерит, пирит, галенит, кварц и кальцит. Общими для всех групп являются гидротермальные доломит, кварц, пирит, сфалерит и кальцит.

Парагенезис руд этого района не всегда ясен, поскольку все минералы никогда не встречаются вместе в какой-нибудь одной группе. Друзы чрезвычайно редки и облегчить изучение взаимоотношений между минералами не могут. Однако на основании изучения большого количества шлифов и полированных штуфов оказалось возможным построить диаграмму фиг. 19. Из этой

диаграммы ясно видно, что последовательное отложение минералов встречается здесь редко и обычно наблюдается перекрытие или одновременное их отложение.

Первым событием в образовании этих месторождений было возникновение трещиноватости в известняке и в диагенетическом доломите. Затем последовала доломитизация известняка с образованием грубозернистых доломитов, перекристаллизация некоторых первичных доломитовых пород и выполнение пустот в брекчии «жильным» доломитом. Отложение жильного доломита следует рассматривать как фазу этой доломитизации, а не как результат поступления более позднего магнезиального раствора. Чистота доломита в этих брекчиевых пустотах, возможно, обусловлена отсутствием детритового материала в замещенных породах, а также отложением доломита в открытых пространствах. Можно думать, что по крайней мере некоторая часть доломита была отложена одновременно с сульфидами. Замещение известняка доломитом в месторождениях ясно выражено; в некоторых участках весь пласт может быть превращен в доломит, в то же время на небольшом расстоянии от этого места (порядка десятков, а иногда даже нескольких сантиметров) известняк оказывается совершенно не затронутым изменением. Замещение распространялось как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях через все пласты известняка. Граница доломитизированного известняка может быть резкой, особенно в зонах трещиноватости; не менее часто, однако, наблюдается постепенный переход от полностью доломитизированного блока к примыкающей породе, содержащей лишь немногочисленные частицы доломита, рассеянные в известняке.

В брекчии доломитовой породы магнезиальные растворы вызвали перекристаллизацию доломита вдоль краев обломков. Под микроскопом всегда можно наблюдать постепенное изменение размеров кристаллов — от крупнокристаллического доломита в трещине до мелкозернистого доломита в коренной породе.

За доломитизацией последовало легкое окремнение, но кремний, в общем, составляет всегда лишь очень незначительный процент от общей массы породы. В известняках наблюдается замещение известковой породы ангедральным кварцем, в участках же доломита кварц лишь выполняет пустоты между зернами. Образования джаспероида, обычного для округа Три-Стэйт, здесь не наблюдается. Возможно, что часть кремнистого материала, имеющегося в руде на этом участке, была отложена в это время, но пока еще это точно не установлено.

Первым образовавшимся сульфидом был пирит. Он замещает доломит, известняк и окремненный материал; обычно встречается в мелких пересекающихся прожилках по трещинкам или в зерни-

стых массах, между сфалеритом и вмещающей породой. Имеются достаточные доказательства того, что пирит образовался раньше, чем сфалерит, — во многих случаях кристаллы пирита и пиритовые агрегаты корродированы и пересечены сфалеритом. Это явление особенно хорошо выражено в рудах района Свитуотер. Наоборот, в рудных районах Поуэлл Ривер — Коппер Ридж, где пирит слагает значительно бо́льшую часть руды, он частично может быть ранним, а иногда и одним из последних отложившихся минералов; нередко он окаймляет сфалерит и поздний кварц. Руды Свитуотер и Маскот — Джефферсон Сити вовсе не содержат позднего пирита или, если и содержат его, то лишь в незначительных количествах. Хотя некоторая часть пирита и обнаруживает формы, напоминающие марказит, этот минерал не был обнаружен *ни в полированных образцах, ни в образцах*, подвергнутых рентгеновскому анализу.

Следующим отложившимся сульфидом был сфалерит, замещающий в различной степени все более ранние минералы и боковую породу; он почти полностью ограничен в своем распространении доломитизированными известняками и брекчированными доломитами. В брекчии сфалерит замещает доломитовое выполнение, в то время как обломки брекчии замещаются им редко.

Место галенита в парагенетической последовательности установить труднее. Его отложение началось, повидимому, после сфалерита и продолжалось еще после периода флюорито-баритовой минерализации.

При отсутствии барита и флюорита галенит тесно ассоциирует со сфалеритом; обычно он образует с ним срастания, что указывает на то, что по крайней мере частично отложение этих двух минералов происходило в одно и то же время. В других случаях галенит обнаруживает определенные границы замещения в сфалерите. На участках, где присутствуют флюорит и барит, как, например, в Свитуотер, галенит перекрывает эти минералы, а в одном из наблюденных случаев он, повидимому, является даже более поздним, чем кальцит. Очень небольшое количество сфалерита встречается в известняках. В таких краевых зонах концентрация редко бывает достаточной для того, чтобы обеспечить сколько-нибудь значительную продукцию.

Ассоциация флюорита с баритом была отмечена только в районе, расположенном к юго-западу от Ноксвилля. В этой местности отложение минералов происходило в приводимой ниже *последовательности: 1) пирит, 2) сфалерит (если он вообще присутствует)*, 3) флюорит, 4) барит, 5) галенит, 6) кальцит. В некоторых образцах видны мелкие жилки пурпурного флюорита, пересекающего бесцветный флюорит и барит, из чего можно

заключить, что пурпурный флюорит более позднего происхождения, чем эти минералы; в других местах его можно найти между пиритом и баритом.

Кварц в большей части рудников и разведочных выработок района Поуэлл Ривер относится к более позднему времени, чем сфалерит и галенит. Он образует криптокристаллические агрегаты, заполняя трещины в сульфидных минералах и во вторичном доломите, а также в некоторой степени замещая боковые породы. Содержание кварца даже в этом участке, где он наиболее обилен, составляет лишь крайне незначительный процент породы и руды.

Кальцит является наиболее поздним из минералов. Он отлагается в осевой части большинства галенито-сфалеритовых жил на кристаллах флюорита и барита; в некоторых случаях он присутствует в трещинах, пересекающих сфалерит. Очень небольшое количество кальцита имеется в больших рудных телах замещения в районе Маскот — Джефферсон Сити — Коппер Ридж.

В отношении минерального состава и парагенезиса руд Восточного Теннесси могут быть сделаны некоторые общие выводы. Во всем районе сульфидные растворы были бедны кремнием. Они были активны в замещении доломитов и в меньшей степени кремнистых пород, в то время как замещение растворами известняков было незначительным. Селективное замещение доломита, по всей вероятности, объясняется тем, что эта порода обладает большей проницаемостью, чем очень плотный известняк, а не какими-либо различиями в химическом составе. Некоторые минералы обычны для руд трех районов, в то время как другие характерны для какого-нибудь одного или двух из них. Из сульфидов только цирит и сфалерит встречаются в рудах всего округа. Галенит отсутствует в месторождении Маскот — Джефферсон Сити — Коппер Ридж, но зато присутствует в количествах, имеющих промышленное значение, в месторождении Поуэлл Ривер и является обычной второстепенной составной частью в Свитуотер. Кварц и кальцит присутствуют во всех месторождениях округа, но по сравнению с другими свинцово-цинковыми округами количества их относительно незначительны. Барит и флюорит обычны для месторождения Свитуотер, но почти не известны в двух других участках.

В округе наблюдается довольно определенная последовательность отложения минералов. Два из числа менее обильных минералов — пирит и флюорит — повторяются в ряду последовательности, тогда как повторение других минералов если и наблюдается, то чрезвычайно редко.

Минерализация, повидимому, совершилась в результате одного непрерывного импульса рудоносных растворов, продолжавшегося на протяжении довольно длительного периода.

ЛИТЕРАТУРА

Bridge J., Geological map, with structure sections of the Mascot-Jefferson City, Tennessee zinc district. *Tennessee Division of Geology*, 1945.

Brokaw A. L. and Jones C. L., Structural control of ore bodies in the Jefferson City area, Tennessee. *Econ. Geol.*, **41**, 160, 1946.

Crawford J., Structural and stratigraphic control of zinc deposits in East Tennessee. *Econ. Geol.*, **40**, 408, 1945.

Currier L. W., Structural relations of southern Appalachian zinc deposits. *Econ. Geol.*, **30**, 260, 1935.

Dunlap J. C., Structural control in the eastern belt of the Sweetwater barite district, East Tennessee (abs)., *Econ. Geol.*, **40**, 82, 1945.

Kent D. F. and Rodgers J., Zinc deposits of the Copper Ridge, Straight Creek, and Powell River areas of East, Tennessee (abs.). *Econ. Geol.*, **40**, 88, 1945.

Oder C. R. L. and Miller H. W., Stratigraphy of the Mascot-Jefferson City zinc district. *Am. Inst. of Min. and Met. Eng., Tech. Pub.* No 1818, 1945.

Secrist M. H., Zinc deposits of East Tennessee. *Tennessee Division of Geology, Bull.* 31, 1924.

А. В. ПИНЖЕР[1]

ГЕОЛОГИЯ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФРАНКЛИН—СТЕРЛИНГ, НЬЮ-ДЖЕРСИ

Краткое содержание

В цинковых месторождениях рудников Франклин и Стерлинг, известных с XVII столетия, добываются концентраты виллемита, цинкита и франклинита; они представляют собой единственное, в своем роде, скопление окисных и силикатных минералов. В обоих месторождениях руда выходит на поверхность в открытых синклинальных складках кристаллического известняка Франклин (Уайт) докембрийского возраста. Полосчатость в известняке следует за сложными складками рудных жил, что указывает на то, что руда располагалась в определенных стратиграфических горизонтах складчатой структуры. Распределение рудных минералов в обоих рудных телах чрезвычайно однообразно, а отношения удивительно постоянны. Распределение жильных силикатов менее однообразно: гранат и пироксен имеют тенденцию локализоваться в связи с дорудными пегматитами в месторождении Франклин, между тем как в месторождении Стерлинг пегматитов в рудном теле не содержится. Рудное тело Франклин находится в непосредственной близости от парагнейсов Почук, в то время как рудное тело Стерлинг залегает на 300 *м* выше их. Других цинковых месторождений в известняке Уайт найдено не было. Существуют различные гипотезы о происхождении описываемых месторождений. Считают, что факт отделения железа и марганца от цинка при окислении сульфидно-цинковых руд делает гипотезу Пэлаша о метаморфизме каламинового месторождения неприемлемой. Вместо нее выдвигается гипотеза замещения первичными окислами благоприятных горизонтов в складчатом известняке.

История

Считаем уместным привести краткие исторические сведения об этой рудной области. В самых ранних источниках говорится о колонии датских рудокопов, *поселившихся в долине Минисинк*, к югу от Порт Джервис, Нью-Йорк, в 1640 г., с целью разработки медной залежи Пахакарри. Имеются некоторые указания на то, что эти рудокопы разведали выход руды Стерлинг, возможно, в поисках каламина для выработки латуни.

Самые ранние прямые упоминания касаются постройки в 1768 г. кузницы Шарпса, в полутора километрах к северу от Франклина, и постройки *первой кузницы во Франклине около* 1770 г. В 1770 г. лордом Стерлингом была предпринята неудавшаяся попытка обрабатывать франклинитовую руду из месторождения Стерлинг на его кузнице в Шарлоттесбурге, Нью-Джерси; говорят, что им была отгружена в 1772 г. в Англию цин-

[1] A. W. Pinger, геолог компании New Jersey Zinc, Нью-Джерси.

китовая руда, ошибочно принятая за красную окись меди. Железные залежи Огден, расположенные к востоку от Огденсбурга, были открыты в 1772 г., причем первая добытая на них руда переправлялась в Шарлоттесбург; позднее руда обрабатывалась в кузнице Огденсбург, действовавшей до 1805 г.

Имеющиеся здесь своеобразные минералы давно уже привлекали к себе внимание. Цинкит был впервые идентифицирован Брюсом в 1810 г., франклинит — Бертье в 1819 г. Виллемит был впервые описан в 1822 г., но свое название он получил несколько позже.

Использование цинковых руд сильно задержалось из-за их своеобразного характера. Имеются, правда не очень достоверные, указания на производство окиси цинка из цинкита в 1812 г. С. Фаулером, имя которого тесно связано с развитием рудников Франклин и Стерлинг с 1810 по 1844 г. и который получил в 1830 г. окись цинка в количестве, достаточном только для того, чтобы покрасить его дом во Франклине. В 1841 г. в Нью-Джерси была основана компания Zinc and Copper Mining and Manufacturing; к концу десятилетия достигнутые результаты были настолько благоприятными, что в 1848—1849 гг. компания построила завод в Ньюарке, Нью-Джерси. До 1869 г. окись цинка была основным вырабатывавшимся здесь продуктом; в этом году компания Passaic Zinc начала производство металлического цинка в Джерси-Сити, Нью-Джерси.

Металлический цинк был впервые получен из цинкита в 1838 г. в Вашингтоне, Колумбия; он использовался для производства латуни для стандартных мер и весов по заказу Таможенного управления США. Дальнейшие опыты получения металлического цинка, проведенные до 1865 г., оказались с промышленной точки зрения неудачными; с этого года в Ньюарке началось регулярное, хотя и небольшое производство с использованием «отходов» — окисных руд. В 1866 г. впервые был получен металл из виллемитовой руды. Первая удовлетворительная цинкоплавильная печь для переработки виллемитовой руды была построена компанией Passaic в 1869 г. в Джерси-Сити, Нью-Джерси.

Все попытки получения цинка из франклинитовой руды терпели неудачу до 1854 г., когда во Франклине был осуществлен первый обжиг окиси цинка из франклинита с последующей плавкой остатка для получения марганцовистого железа. Однако франклинит нашел более широкое применение только после 1882 г., когда компанией Passaic была построена доменная печь на заводе в Джерси-Сити для получения зеркального чугуна из отходов франклинита.

На возможность магнитного обогащения указывал еще в 1840 г. Роджерс (H. D. Rogers) в своей книге «Геология Нью-Джерси». Все опыты в этом направлении, однако, были

безуспешны до 1888 г., когда Ведзерилл (J. P. Wetherill) и Роуэнд (L. G. Rowand) организовали впервые успешное электромагнитное обогащение руды, давшее возможность полного использования франклинита для получения окиси цинка и зеркального чугуна, а виллемита — для получения цинка в чушках. Приблизительно в то же время Томас А. Эдисон пытался проводить магнитное обогащение железной руды на руднике Огден, расположенном к востоку от Огденсбурга, но его работа оказалась практически безуспешной из-за низкого процентного содержания цинка в руде.

Интенсивные разведочные работы и развитие добычи начались в сороковых годах прошлого столетия, когда были организованы многочисленные компании для эксплоатации руд; с этого времени цинковые месторождения эксплоатируются уже непрерывно.

Добыча железной руды в описанном округе после многих лет частичной или полной бездеятельности возобновилась в 1870 г. и продолжалась до окончательного демонтажа печи компании Franklin Iron во Франклин Фёрнес в 1906 г.

Горные работы

Разработки проводятся в двух местностях — на руднике Франклин близ г. Франклин и на руднике Стерлинг близ г. Огденсбург, Нью-Джерси. Работы на руднике Франклин достигли глубины 355 *м*, а на руднике Стерлинг — 750 *м* от поверхности. В обоих рудниках разработка ведется при помощи наклонных шахт. Каждый рудник имеет свою собственную обогатительную фабрику, работа которой состоит в дроблении руды, размоле ее, классификации материала по размеру зерен, магнитном обогащении франклинитового концентрата и в гравитационном обогащении (при помощи отсадочных машин и классификаторных столов) виллемита и цинкита до получения виллемитового концентрата.

Концентраты и некоторые промежуточные продукты переправляются в Пальмертон (Пенсильвания), где на плавильных заводах компании франклинитовые концентраты обжигаются для выделения окиси цинка, а франклинитовые отходы плавятся для получения зеркального чугуна. Виллемитовые концентраты плавятся в ретортах для получения высокопроцентного металлического цинка. Промежуточные продукты используются для изготовления окиси цинка.

Меридит Е. Джонсон в своей книге «Горная промышленность в Нью-Джерси в 1929 г.» для общей продукции обоих рудников с 1880 г. называет цифру более 15 000 000 *т*.

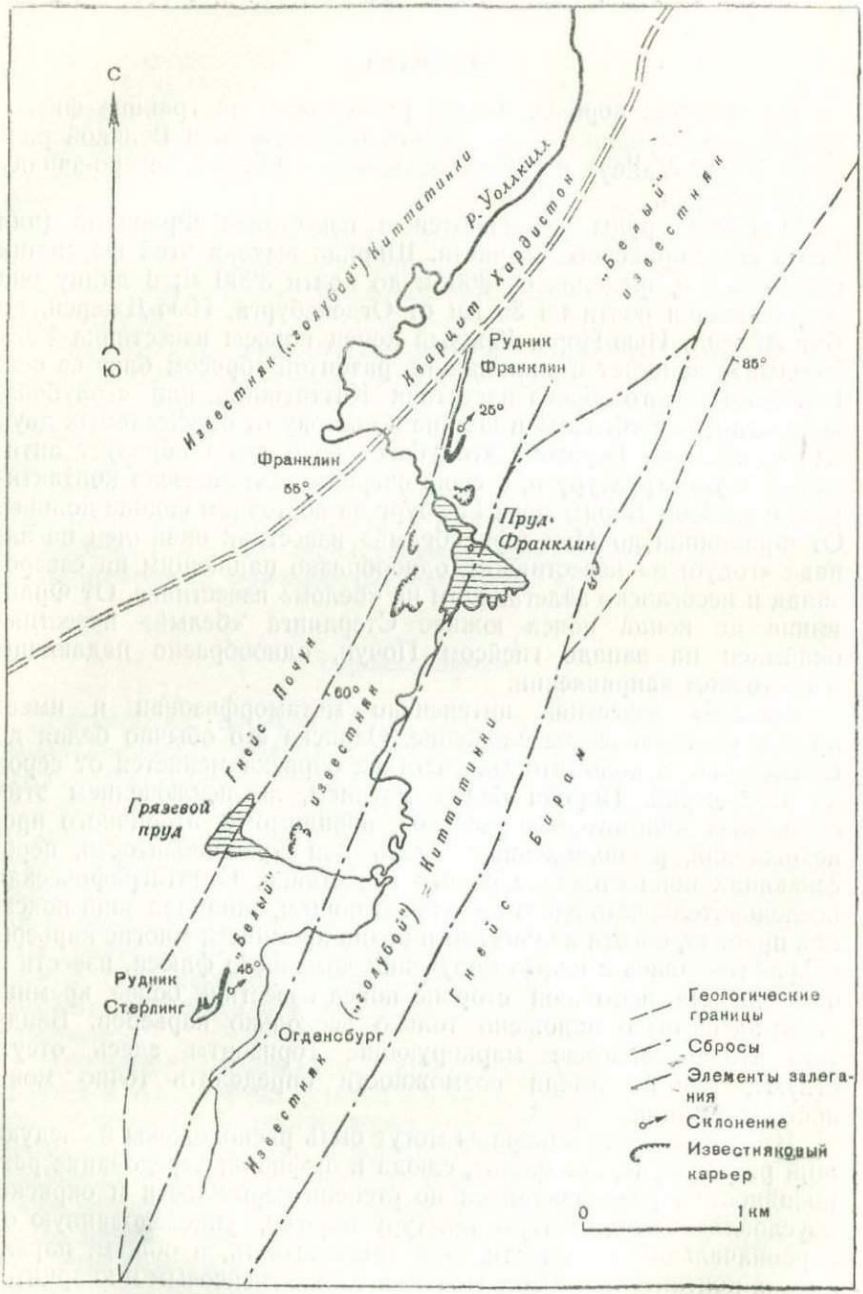
Геология

Вмещающие породы. Округ расположен на границе физиографических провинций Архейского плоскогорья и Великой равнины (Great Valley) на расстоянии около 80 *км* к северо-западу от Нью-Йорка.

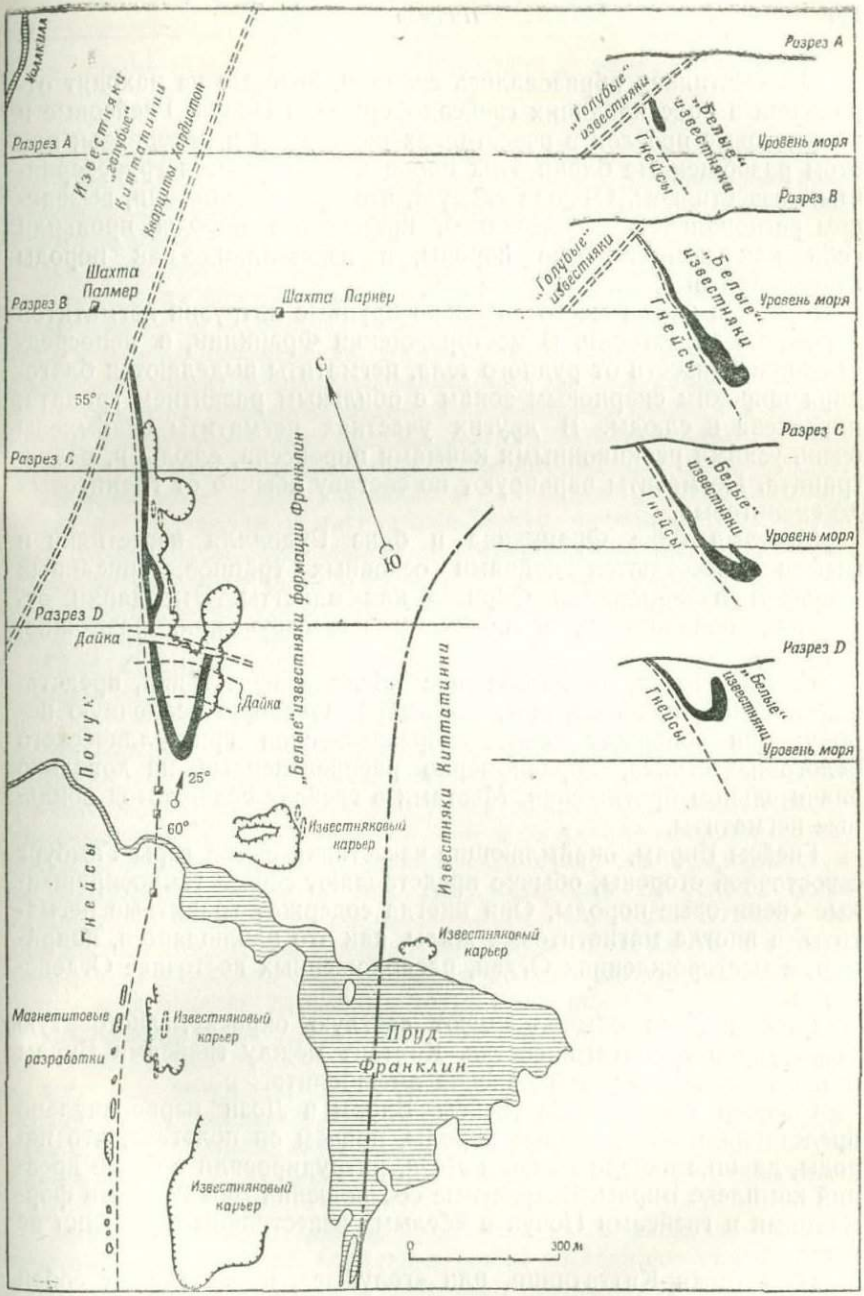
Цинковые руды встречаются в известняке Франклин (или Уйат) докембрийского возраста. Ширина выхода этой формации колеблется в пределах от 800 *м* до почти 3200 *м*; в длину она протягивается почти на 30 *км* от Огденсбурга, Нью-Джерси, до Биг Айленд, Нью-Йорк. Южный конец полосы известняка Уайт («белый») залегает в синклинали, разбитой сбросом близ ее оси. Вследствие этого сброса известняк Киттатинни, или «голубой», контактирует с «белым» в долине к востоку от описываемых двух месторождений. Горизонт «голубого» известняка образует антиклинальную структуру и, в свою очередь, тектонически контактирует с гнейсом Бирам горы Гамбург на восточном склоне долины. От Франклина до Мак Афи «белый» известняк окаймлен на западе «голубым» известняком, однообразно падающим на северо-запад и несогласно залегающим на «белом» известняке. От Франклина до конца пояса южнее Стерлинга «белый» известняк окаймлен на западе гнейсом Почук, однообразно падающим в восточном направлении.

«Белый» известняк интенсивно метаморфизован и имеет крупнокристаллическое сложение. Окраска его обычно белая до светлосерой, в доломитовых участках окраска меняется от серой до темносерой. Порода бедна магнием, за исключением этих локальных доломитовых участков, повидимому, вторичного происхождения, расположенных вдоль зон трещиноватости, пересекающих напластование белого известняка. Стратиграфическая последовательность здесь не ясна. В общем, западная зона пояса, как правило, богата кальцитом и бедна кремнием; многие карьеры разрабатывались с целью получения доменного флюса, извести и цемента. На восточной стороне пояса известняк более кремнистый; здесь было заложено только несколько карьеров. Ввиду того что различимые маркирующие горизонты здесь отсутствуют, мы не имели возможности определить точно мощность формации.

Второстепенные минералы могут быть расположены в следующий ряд: графит, хондродит, слюда и амфибол; чередование разновидностей, различающихся по степени зернистости и окраске, обусловливает полосчатую текстуру породы, унаследованную от первоначальной слоистости. Эта полосчатость, в общем, параллельна контакту с гнейсом Почук, а также гнейсовым и кварцитовым прослоям в известняке. Местами эта полосчатость согласна со складчатыми структурами, в которых находится руда.



Фиг. 20. Схематическая геологическая карта месторождений Франклин и Стерлинг, Нью-Джерси.



Фиг. 21. Геологическая карта и разрезы месторождения Франклин, Нью-Джерси.

В известняках образовались складки, которые не находят отражения в подстилающих гнейсах формации Почук. Гнейсовые и кварцитовые прослои в известняках разломаны и разорваны; при этом разобщенные блоки этих пород цементируются грубозернистым известняком. Отсюда следует, что при напряжении, вызванном региональной деформацией, кремнистые породы проявили себя как компетентные породы, а известняки — как породы некомпетентные.

Местами имели место довольно крупные интрузии пегматитов в «белые» известняки. В месторождении Франклин, в непосредственной близости от рудного тела, пегматиты выделяются благодаря широким скарновым зонам с обильным развитием граната, пироксена и слюды. В других участках пегматиты окаймлены очень узкими реакционными каймами пироксена, слюды и, редко, граната. Пегматиты варьируют по составу обычно от гранитовых до сиенитовых.

Местами близ Франклина и близ Рудвилля известняки и гнейсы пересекаются дайками основных траппов, описанных Вольфом в «Франклин Фёрнес» как минетты. Эти дайки относятся, повидимому, к позднему палеозою или, возможно, к триасу.

Гнейсы Почук, подстилающие «белые» известняки, представляют собой, как полагают, метаморфизованную осадочную породу; они содержат чечевицеобразные слои кристаллического белого известняка, неравномерно распределенные на довольно значительном протяжении. Местами в гнейсах содержатся обильные пегматиты.

Гнейсы Бирам, окаймляющие известняки свиты горы Гамбург с восточной стороны, обычно представляют собой темноокрашенные сиенитовые породы. Они иногда содержат гранитные пегматиты, а иногда магнетитовые жилы, как это наблюдается, например, в месторождениях Огден, расположенных восточнее Огденсбурга.

Гнейсы Лози обычно имеют светлую окраску, листоватую структуру и гранитный состав. Контакт между гнейсами Бирам и Лози обозначен узкой полосой амфиболита.

Спенсер считает, что гнейсы Бирам и Лози первоначально представляли изверженные породы, причем он полагает, что породы, давшие начало гнейсам Лози, интрудировали в более древний комплекс Бирам. Возрастные соотношения между этими формациями и гнейсами Почук и «белым» известняком Франклин не ясны.

Известняки Киттатинни, или «голубые», представляют собой мощную свиту доломитов раннего палеозоя, вероятно, перекрывающую породы позднего кембрия и ордовича. Основание этой толщи отмечено тонким, редко достигающим мощности в 6 *м*

слоем кварцита Хардистон, относящегося к кембрийскому времени.

Рудная минерализация. Интересно отметить, что в описываемой зоне белых известняков имеются только что описанные два цинковых месторождения; других месторождений с аналогичными рудами здесь найдено не было.

Магнетит добывался из жил, расположенных в нижней части толщи «белых» известняков, и из гнейсов, залегающих близ контакта с ними, в месторождении Франклин, на расстоянии около 800 *м* к югу по направлению к Огденсбургу. Эти жилы оказались чечевицевидными и прерывистыми; ни одно из рудных тел не имеет больших размеров. Магнетит добывался также в гнейсах Бирам, в месторождениях Огден, к востоку от Огденсбурга, а также в других местах прилегающих плоскогорий.

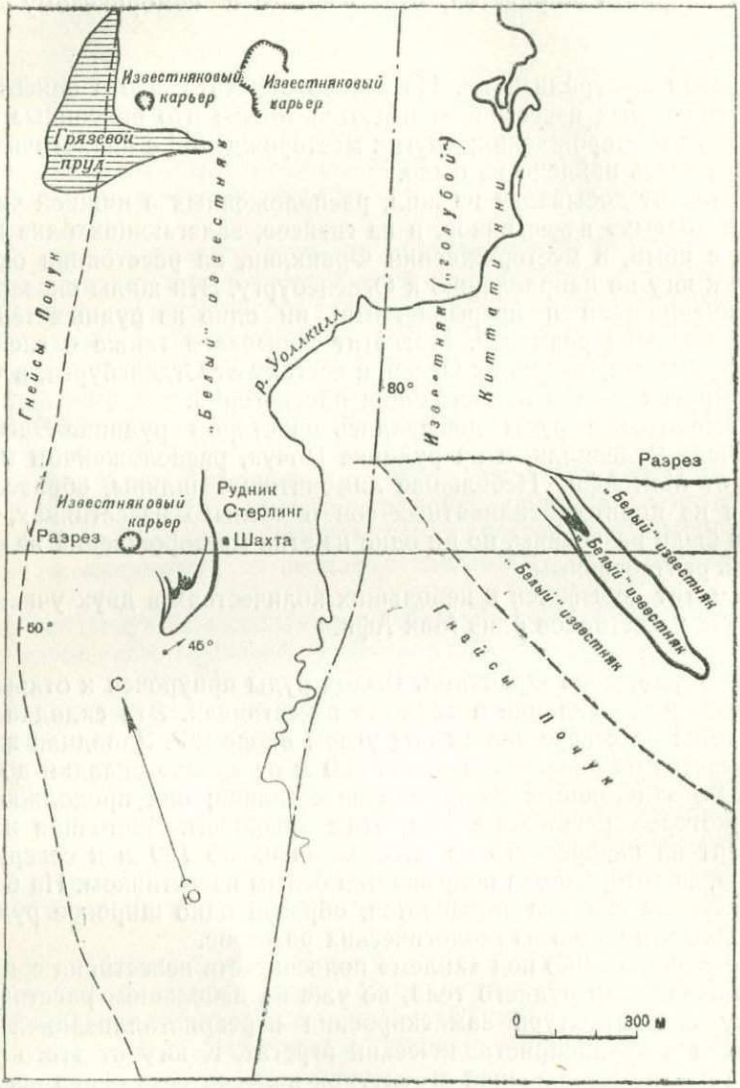
Лимонитовые руды добывались на старом руднике Эдсолл, восточнее Рудевилля, и на руднике Почук, расположенном к западу от Мак Афи. Небольшие лимонитовые шляпы, образовавшиеся из пиритово-силикатных зон в «белых» известняках, местами были разведаны, но ни одно из этих месторождений не оказалось рентабельным.

Гематит добывался в небольших количествах в двух участках «белых» известняков близ Мак Афи.

Месторождение Франклин. Выход руды приурочен к открытой синклинальной складке в «белых» известняках. Эта складка погружается на северо-восток под углом около 25°. Западная жила обнажается на расстоянии около 800 *м* от «киля» складки до несогласно залегающих «голубых» известняков; она продолжается на некоторое расстояние под этим покровом. Восточная жила выходит на поверхность на расстоянии около 180 *м* к северу от «киля», за которым она покрывается белым известняком. На большей глубине складка замыкается, образуя одно широкое рудное тело, как это видно из геологических разрезов.

Непосредственно под «килем» полосчатость известняка согласна со складками рудного тела, но уже на небольшом расстоянии к югу вся структура замаскирована перекристаллизацией известняка в крупнокристаллический агрегат. К югу от этого участка с неясно выраженной структурой полосчатость снова восстанавливается, причем она опять параллельна контакту с гнейсами.

Месторождение Стерлинг. Руда выходит на поверхность в открытой синклинальной складке в белом известняке: складка эта погружается в северо-восточном направлении под углом около 50°. Западная жила была вскрыта на протяжении около 213 *м*, а Восточная — на протяжении около 487 *м*. От середины Западной



Фиг. 22. Геологическая карта и разрез рудника Стерлинг, Нью-Джерси.

жилы ответвляется боковая жила, носящая название Восточной ветви Западной жилы; она идет почти параллельно Западной жиле на протяжении около 120 *м*; затем образует крутой перегиб или промежуточную синклинальную складку, восточное колено которой иногда соединяется с Восточной жилой. Структура здесь чрезвычайно сложна; простейшее объяснение сводится к тому, что здесь имела место сжатая изоклиналь, позднее смятая в синклинальную складку; при этом первоначальные крылья изоклинальной складки разделились и образовали два киля.

Полосчатость «белого» известняка местами согласна со сложной складчатостью рудных жил; поэтому можно допустить, что отложение руды здесь следовало вдоль определенных стратиграфических горизонтов в складчатой структуре.

Генезис руды

В письме бывшего управляющего рудником, написанном в конце прошлого столетия, мы находим следующее замечание: «Просхождение руды мне сколько-нибудь точно неизвестно. К моему несчастью, я слышал и читал так много объяснений причин залегания этого рудного тела в Майн Хилл, что я затрудняюсь принять которое-либо из них».

В настоящее время мы недалеко ушли вперед в этом отношении, и все, что я могу попытаться сделать, — это вкратце охарактеризовать некоторые руды и их месторождения, а также дать обзор тех гипотез, которые выдвигались по этому вопросу.

Приблизительный состав следующий (в %):

Франклинит	40	
Виллемит	23	
Цинкит	1	(немного менее)
Жильные силикаты	11	
Жильные карбонаты	25	
	100	

Из числа цинковых минералов франклинит и цинкит больше нигде в мире, насколько нам известно, не встречаются. Виллемит был найден в ряде мест, но, кроме описываемого нами района, он добывается еще только в одном месте — в Родезии.

Распределение рудных минералов во всех рудных телах чрезвычайно однообразно. Равным образом поразительно постоянны распределение и процентное содержание железа, цинка и марганца. Рудные минералы — франклинит, виллемит и цинкит — присутствуют в обоих месторождениях приблизительно в равных количествах.

В месторождении Франклин франклинит более однороден по своему составу; виллемит имеет характерную зеленоватую окраску. На руднике Стерлинг франклинит иногда содержит больший процент железа (за счет цинка и марганца); виллемит здесь обычно имеет красную или красновато-коричневую окраску, причем один рудный столб состоит в большей своей части из черного виллемита, представляющего собой микроскопическое прорастание франклинита и виллемита. Эти различия имеют важное значение при эксплоатации месторождения, поскольку руды из каждого рудника должны обогащаться отдельно, хотя по содержанию в них железа, цинка и марганца они почти идентичны.

Распределение жильных силикатов менее равномерное: гранаты и пироксен (рудник Франклин) частично локализованы и приурочены к присутствующему здесь пегматиту. В месторождении Стерлинг пироксен встречается довольно часто, а гранат — сравнительно редко. Родонит, хотя встречается и не в особенно обильном количестве, является, пожалуй, наиболее равномерно распределенным минералом в месторождении Франклин; на руднике Стерлинг наиболее широко распространен тефроит, а родонит встречается довольно редко. Кальцит широко распространен в обоих месторождениях.

Сера в руднике Франклин отсутствует, если не считать рассеянных сульфидов в случайных доломитовых прожилках в верхней части месторождения; наблюдается некоторое обогащение сульфидами под нашлепкой «голубого» известняка у северного конца месторождения. Несколько более обычна сера в руднике Стерлинг, где она локализуется в сульфидных прожилках вдоль килей структуры.

Руды встречаются в синклинальных структурах в «белом» известняке; повидимому, тут они замещают определенные горизонты. Полосчатая текстура руды унаследована от исходной структуры известняка.

Пегматиты обычны в руде и боковых породах месторождения Франклин, но почти совершенно отсутствуют в руде месторождения Стерлинг. Возрастные отношения между пегматитом и рудой в руднике Франклин не вполне ясны. В более ранних отчетах приводятся убедительные данные в пользу того, что пегматит относится к более позднему времени, чем руда. Однако при проведении детального картирования нам нередко приходилось устанавливать, что рудные минералы замещают скарн и пегматит, так что многие из пегматитово-скарновых зон разрабатываются в качестве руды. Мы склоняемся к предположению, что известняк был сначала интрудирован пегматитом, сопровождавшимся развитием контактовых силикатных зон; затем последовало замещение известняка рудой с местным замещением скарна и пегматита. Поскольку руда избирательно замещала известняк, современная

картина представляет псевдоморфные соотношения, которые могли неправильно истолковываться.

В руде месторождения Стерлинг мы не находим ни одного из тех типов пегматита, которые имеются в руде месторождения Франклин. Наиболее близко подходит к ним гнейсовидная порода, называвшаяся различно: габбро, сиенит и пегматит. Место ее залегания ограничивается клином породы между Восточной и Западной жилами; близко к руде она нигде не подходит, за исключением отдельных мест, где контактирует с ней тектонически. Иногда эта порода имеет кварцитовый состав и, возможно, представляет собой метаморфизованную загрязненную осадочную породу.

Отмеченные два месторождения имеют следующие общие черты: 1) приуроченность к одной и той же вмещающей породе — «белому» известняку; 2) во многом сходная структура — оба месторождения представляют синклинальные складки, погружающиеся на северо-восток; 3) сходный минералогический состав с однородным распределением цинка, железа и марганца.

Чертами различия тех же рудных тел являются: 1) рудное тело Франклин расположено в непосредственной близости от гнейса, а рудное тело Стерлинг — приблизительно на 300 *м* выше гнейса; 2) второстепенные различия в составе жильных минералов: гранат и родонит обычны для рудного тела Франклин и редко встречаются в рудном теле Стерлинг; 3) редкие элементы и минералы, встречающиеся местами в месторождении Фраклин, неизвестны на руднике Стерлинг; 4) пегматиты обычны в рудах и в боковых породах месторождения Франклин, но совершенно отсутствуют в рудах и гораздо реже встречаются в боковых породах рудника Стерлинг.

В своем дальнейшем изложении я широко пользуюсь данными, почерпнутыми из доклада № 180 Геологического комитета США, составленного д-ром Пэлаш (Гарвардский университет). В частности, оттуда берутся мною высказывания, характеризующие различные гипотезы о происхождении руд. Цитирую:

«Гипотеза о пирогенной инъекции впервые была выдвинута Роджерсом в 1836 г. и была поддержана Спенсером в сборнике, посвященном месторождению в 1908 г., как лучшая из нескольких альтернатив. Она была отброшена Рисом и Боуэном в 1922 г. на том основании, что ею не объясняются зернистые срастания кальцита в известняке Франклин с рудными минералами. Тем не менее теория эта нашла себе защитников в лице Спёрра и Левиса в 1925 г., рассматривавших руды как интрузивные жилы и дайки сульфидной магмы, потерявшие свою серу при поздней дестилляции... Откуда поступал требующийся кислород — неизвестно».

Я согласен с д-ром Пэлаш, что самым веским доказательством, говорящим против этой гипотезы, является минеральный и химический состав руд. Присутствие обильных карбонатов, трудность удаления серы без удаления CO_2 и источник требующегося кислорода — все эти вопросы не находят себе объяснения.

«Гипотеза, согласно которой цинковые руды первоначально представляли собой осадочные месторождения и были отложены вместе с вмещающим их известняком, а затем были с ним метаморфизованы, была впервые выдвинута Китчеллом в 1855 г. и поддерживалась геологами Нью-Джерсейского бюро вплоть до 1896 г. Это предположение трудно подтвердить, поскольку мы не имеем возможности определить, идут ли слои руды параллельно первоначальному напластованию известняка. Эта гипотеза не объясняет также структуры месторождения Стерлинг Хилл в том виде, в каком она представляется нам в результате последних горных работ».

Мы думаем, что мы нашли достаточные доказательства того, что руды предпочитают определенные горизонты в известняке и что структура месторождения Стерлинг может объясняться именно этим. Мы полагаем также, что осадочное отложение не может объяснить исключительную локализацию руды в описываемых двух месторождениях. Нам кажется, что оно должно было бы привести к значительно более широкому распространению цинка, железа и марганца, чем это имеет место в действительности. Границы руды четки, а не расплывчаты и признаков слабой минерализации не наблюдается ни в других месторождениях, ни вообще где-либо в округе.

«Гипотеза образования руд путем контактового метаморфизма, обусловленного интрузией пегматитов, была выдвинута в 1890 г. Назоном; в 1893 г. ее поддержал Кемп, давший неправильное толкование взаимоотношениям между пегматитовыми дайками, которые в то время были еще мало вскрыты, и рудными телами. Эта гипотеза была опровергнута Рисом и Боуэном на тех же основаниях, что выше; эти авторы доказывали, что пегматиты, находящиеся в контакте с цинковыми рудными телами, интрудировали в них».

Как указывалось выше, мы имеем доказательства того, что пегматиты относятся к более раннему времени, чем руда. Однако мы полагаем, что наиболее важными возражениями против последней гипотезы являются: случайное распределение пегматитов и отсутствие связи между местонахождением (и количеством) руды и положением пегматитов в месторождении Франклин, а также отсутствие пегматитов вблизи рудных тел месторождения Стерлинг.

«Гипотеза замещения магматическими растворами... была принята Рисом и Боуэном. У этих авторов имелись сомнения

насчет того, предшествовало ли замещение складкообразованию в известняке, или оно произошло после этого процесса; впоследствии они, однако, решили, что замещение предшествовало складкообразованию. По их мнению, «первичные» минералы — виллемит, франклинит и цинкит — были отложены в данной последовательности непосредственно из магматических растворов».

«Химическая природа этих минералов такова, что автору преставляется маловероятным, чтобы они произошли в результате отложения из магматических растворов. Насколько ему известно, повсюду, где именно таким путем отлагался цинк, там образовывался сульфид; однако отсутствие металлических сульфидов является одной из характерных черт первичных руд округа Франклин».

Трудно дать оценку этой гипотезе. Мы полагаем, что это объясняется в значительной степени неясностью применяемых в данном случае номенклатуры и определений. Такие термины, как «магматические растворы», «контактовый метаморфизм» и «изверженные жильные дайки», — расплывчаты, неопределенны, и многие читатели толкуют их различно. Д-р Пэлаш возражает против этой гипотезы, основываясь на химической природе руд. Насколько мы понимаем работу Риса и Боуэна, у них имеется одна основная отправная точка зрения, а именно: первоначальное отложение рудных минералов путем замещения известняка. Трудно себе представить способ переноса и отложения их, но конечный продукт — рудные тела в том виде, в каком мы их наблюдаем в настоящее время, обладают рядом черт, которые легче всего объяснить тем, что они были первоначально отложены в их настоящей форме.

«Автор (д-р Пэлаш) пришел к выводу, что рудные тела образовались в результате метасоматического замещения известняков в докембрийское время до их регионального метаморфизма. Он полагает также, что они отложились близ поверхности в условиях окисления и, вероятно, состояли в значительной своей части из водного силиката цинка, каламина, вместе с водными окислами железа и марганца, а может быть, и карбонатами цинка и марганца. Рудоотлагающие растворы, повидимому, получили свои металлические составные части из продуктов окисления ранее существовавших рудных тел смешанных сульфидов».

«Эти окисленные минералы, вероятно, были отложены более или менее слоистыми массами, форма которых могла определяться предшествующей складчатостью известняка, определившей и направление потока рудоотлагающего раствора. Минералы, составляющие в настоящее время месторождения, образовались, согласно этой гипотезе, путем дегидратации и перекристаллизации на протяжении более позднего, глубокого и длительного

процесса метаморфизма всех докембрийских пород данной области. Таким образом руды приобрели свою характерную структуру и текстуру, напоминающие структуру и сложение вмещающего их известняка. Установленная последовательность образования минералов, согласно которой окислы образовались после силикатов, повидимому, вполне согласуется с предполагаемым типом происхождения».

«Впервые у автора возникла мысль о том, что эти рудные тела образовались вследствие метасоматического замещения на основании изучения характера двух других месторождений цинковой руды родственного происхождения. Первое из них — каламиновое месторождение в Стерлинг Хилл — представляет собой, в малом масштабе, пример, удобный для изучения, так как это месторождение находится на территории Франклин. Там скопилось обильное месторождение, состоящее из параллельных слоев каламина, смитсонита, цинксодержащей глины и водных окислов железа и марганца; при этом напластование следовало по стенкам пустот в известняке, вследствие растворения которого и создавалось место для отложения новой руды. Источником последней являлась расположенная вблизи франклинито-виллемитовая масса; если бы новая руда и окружающий ее известняк подверглись бы сильному глубинному высокотемпературному метаморфизму, то вследствие дегидратации и перекристаллизации образовалось бы новое месторождение, аналогичное с исходной породой».

«Второй пример взят из опубликованных описаний хорошо известных месторождений цинковой руды в Мореснет, Бельгия, где имеется обширное сфалеритовое месторождение замещения в палеозойском доломите. Сфалерит претерпел глубокое окисление, и растворимые продукты были перенесены в близлежащий доломит; там они аккумулировались в синклинальных складках, которые приостановили циркуляцию. Таким путем образовались обширные месторождения, состоящие в основном из каламина с небольшой примесью смитсонита и лимонита; хотя форма этих залежей, в общем, и определялась структурой доломита, однако в деталях она зависит только от растворяющего действия руд несущего раствора. Возможно, что бельгийские месторождения десульфуризованных цинковых и железных руд во всех отношениях (исключая отсутствие в них марганца) дают хорошее представление о цинковых рудах Нью-Джерси до наступления метаморфизма».

Эта гипотеза согласуется со многими деталями минералогических и полевых наблюдений, но не может объяснить некоторые важные черты. Д-р Пэлаш полагает вероятным, что тут имело место окисление ранее существовавшей массы смешанных сульфидов и последующий метаморфизм окисленных руд. В виде

примера он приводит каламиновое месторождение Стерлинг и месторождения частично окисленных смешанных сульфидов в Мореснет, Бельгия.

В месторождении Стерлинг каламиновая руда (водный силикат цинка) имеется в двух местах: в Нобль Пит и в Маршалл или Каламин Пит. Нобль Пит находится на выходе на поверхность южного «киля», а Маршалл Пит — на выходе на поверхность промежуточного килевидного прогиба. Во всем месторождении эти два «киля» выделяются присутствием обильного сфалерита. По нашему мнению, каламин образовался первоначально путем окисления цинковой обманки, поскольку детальное изучение показывает, что франклинит и виллемит не подвергались значительному изменению при выветривании, за исключением тех случаев, *когда они сопровождались сульфидами.* Нигде вдоль выходов рудных тел не был найден каламин; присутствие его не было установлено также и на руднике Франклин, за исключением одного места в северном конце месторождения под покровом «голубого» известняка, где местами наблюдается обильное скопление сульфидов.

В обоих месторождениях сульфиды определенно относятся к более позднему возрасту, чем нормальная руда; в месторождении Франклин сульфиды распространяются в глубь «голубого» известняка, что указывает на их послеордовичский возраст.

Эти месторождения, хотя и небольших размеров, обнаруживают интересную зональность в распределении железа, цинка и марганца: в верхней части наблюдается лимонитовая зона, ниже — железо-марганцовая зона и еще ниже — отложения каламина с небольшим содержанием железа и марганца.

Что касается Мореснета, то у нас нет сведений относительно распределения цинка и железа после окисления, поэтому приводим примеры, с которыми мы лучше знакомы.

В месторождениях Ледвилл и Джильмэн, Колорадо, большие метасоматические тела смешанных сульфидов цинка и железа вместе с марганецсодержащей карбонатной жильной породой подверглись сильному выветриванию, что привело к образованию крупных лимонитовых железных шляп, низкопроцентных железо-марганцовых окисленных руд и каламино-смитсонитовых рудных тел. Они имеют почти пластовую форму, обычно находятся в верхней части известняка Ледвилл и характеризуются обособлением цинка, железа и марганца.

Содержание цинка, железа и марганца в неокисленной руде приблизительно такое же, как и в месторождении Франклин; однако рудные тела, образовавшиеся вследствие окисления этой руды, существенно отличаются. Верхняя часть обычно лимонитовая, не содержащая цинка и лишь в небольшом количестве содержащая марганец; ее разрабатывали для получения плавильного

флюса. Добываемые железо-марганцовые окислы содержали около 15% марганца и 35% железа; местами содержание марганца было выше. Каламино-смитсонитовые рудные тела, залегающие под железными и марганцовыми рудами, содержали от 25 до 40% цинка при небольшом проценте железа или марганца.

Если представить себе метаморфизм этих окисленных продуктов, то, как нам кажется, результатом этого процесса должно было бы быть образование различных по составу зон безводных окисей железа, железа и марганца и виллемита, возможно, с некоторым количеством цинкита, образовавшегося из силиката и карбоната. Трудно себе представить, чтобы руда гомогенного типа, которую мы имеем в месторождениях Франклин и Стерлинг, могла произойти из таких зональных месторождений.

В качестве еще одного примера можно, пожалуй, назвать Балмат, Нью-Йорк, где крупное месторождение замещения смешанных сульфидов подверглось выветриванию, а образовавшиеся продукты окисления были метаморфизованы по меньшей мере до степени дегидратации. Лимонитовая железная шляпа превратилась в гематит, содержащий лишь небольшое количество цинка; подстилающая окисленная цинковая руда — предположительно каламин — представляет собой в настоящее время виллемит, содержащий лишь в небольшом количестве железо. Здесь разделение сохранялось и на протяжении процесса метаморфизма.

Разделение цинка и железа после окисления смешанных сульфидов наблюдали во многих местах Аппалачей, в долине Миссисипи и в области Скалистых гор. На основании вышеизложенного мы считаем, что отсутствие здесь разделения руд является наиболее важным возражением против приведенной выше гипотезы.

Чрезвычайная неправильность контактов, обусловленная сильным действием растворов, характерная для окисленных цинковорудных тел, здесь отсутствует. Мы видим здесь местами неправильные контуры, но ни в одном случае их образование не может быть объяснено этой причиной.

Дальнейшее возражение как будто может основываться на отсутствии здесь каких-либо остатков неокисленных смешанных сульфидов, хотя можно себе представить, что процесс окисления продолжался так долго, что в конце концов все следы серы могли исчезнуть.

Приведенные выше критические замечания составляют все же в целом неясную картину. Что можно воссоздать на их основании? Мы не пришли к сколько-нибудь определенным выводам относительно происхождения руд. Единственной гипотезой, которая отвечает наблюдаемым условиям, является гипотеза о замещении первичной окисной рудой благоприятных горизонтов в складчатой структуре. В отношении химизма и механизма

переноса и отложения мы не можем привести ничего, кроме предположений. Геологическая история здесь сложна; вероятно, она уходит далеко в докембрийскую эпоху.

ЛИТЕРАТУРА

Rogers H. D., Report on the Geological Survey of New Jersey, 1836.
Cook G. H., Geology of New Jersey, 1868.
Darton N. H., The Zinc Mines of Sussex County, *N. J. Scientific American Supplement*, **16**, 6278, 1883.
Kemp J. F., The ore deposits at Franklin Furnace and Ogdensburg, N. J. *New York Academy of Science, Trans.*, **13**, 76, 1893.
Nason F. L., The Franklinite deposits of Mine Hill, Sussex County, N. J. *Amer. Inst. Min. Eng., Trans.*, **24**, 121, 1894.
Wetherill J. P., The Mine Hill ore deposits in New Jersey, and the Wetherill Concentrating Plant. *Eng. Min. Jour.*, **64**, 65—98, 1897.
Wolff J. E., Zinc and Manganese deposits of Franklin Furnace, N. J. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 213, 214, 1903.
Spencer A. C., Kummel H. B., Wolff J. E., Salisbury R. D. and Palache C., U. S. Geol. Survey, Geological Atlas, Franklin Furnace Folio, No 161, 1908.
Haight C. M. and Tillson B. F., Zinc mining at Franklin, N. J. *Amer. Inst. Min. Eng., Trans.*, **57**, 720, 1917.
Ries H. and Bowen W. C., Origin of the zinc ores of Sussex County, N. J. *Econ. Geol.*, **17**, 517, 1922.
Rastall R. H., Geology of the Metalliferous Deposits, Cambridge, 1923.
Spurr J. E. and Lewis J. V., Ore deposits at Franklin Furnace, N. J. *Eng. and Min. Jour.*, **119**, 317, 1925.
Palache C., A comparison of the ore deposits of Langban, Sweden, with those of Franklin, N. J. *Amer. Mineralogist*, **14**, 43, 1929.
Kerr P. F., Zinc deposits near Franklin, N. J. *XVI International Geol. Congress, Guidebook* **8**, 2, 1933.
Heckel G. B., The story of the New Jersey Zinc Company, published in *Drugs, Oils, and Paints*, March 1934 to May 1935.
Palache C., The minerals of Franklin and Sterling Hill, N. J. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* **180**, 1935.

П. ШЕНОН[1]

СВИНЦОВЫЕ И ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОКРУГА КЁР Д'АЛЕН, АЙДАХО

Краткое содержание

Месторождения округа Кёр д'Ален разбросаны на территории площадью в 40 × 20 *км*, в южном конце которой находятся самые крупные в мире серебродобывающие предприятия. Рудные тела расположены вдоль ясно очерченных трещин или зон скалывания в поясе кварцитов, аргиллитов и известковых пород докембрийского возраста, причем главнейшие из них находятся в подотделах горизонтов Притчард, Берк, Реветт и Сент Реджис. Интрузивные породы включают монцонитовые штоки или трубы, диабазовые и лампрофировые дайки. Для этого округа характерно присутствие следующих рудных минералов: галенита, сфалерита, тетраэдрита, халькопирита, пирротина, магнетита и арсенопирита, сопровождаемых кварцем, сидеритом и другими карбонатами, а местами также и баритом. Процесс минерализации сопровождается осветлением примыкающей коренной породы, вызванным развитием серицита, глинистых минералов и карбонатов. Максимальная глубина выработок в настоящее время превышает 1200 *м*.

История

Округ Кёр д'Ален в Северном Айдахо со времени его открытия в 1879 г. выдал руды на сумму более 1 млрд. долл. Бóльшая часть полученной продукции была добыта из свинцово-цинковых месторождений, но за последние годы было добыто также и значительное количество меди и сурьмы в виде побочных продуктов из тетраэдритовых руд «серебряного пояса», расположенного в южной части округа Кёр д'Ален.

В течение трех лет активного участия Соединенных Штатов во второй мировой войне (1942—1945 гг.) в округе Кёр д'Ален было обработано 10 157 493 *т* руды, старых хвостов и шлаков, которые дали 336 529 *т* свинца, 321 204 *т* цинка, 7292 *т* меди и 66 897 *кг* серебра [2]. Из общей продукции на долю руды пришлось 6 491 332 *т*, из которых было добыто 300 287 *т* свинца, 258 000 *т* цинка, 6736 *т* меди и 1 031 016 *кг* серебра. В период войны ни один из рудников не давал максимального для него размера добычи; бóльшая часть их работала приблизительно на половину своей производственной мощности. Несмотря на то, что бóльшая часть горняков была занята на добыче, как это ни удивительно,

---

[1] P. J. Shenon, геолог-консультант, Спокэн, Вашингтон.

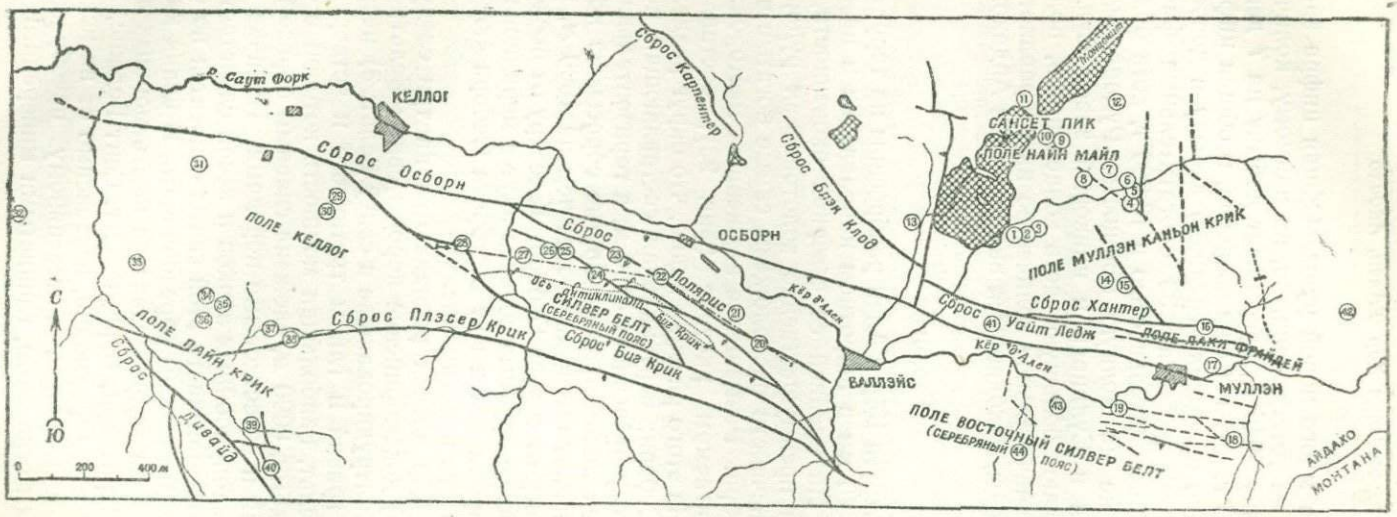
[2] Данные взяты из Ежегодников Бюро США по рудным минералам за 1942—1945 гг.

все же было найдено много новой руды. Общая цифра запасов всех месторождений не установлена, но, повидимому, количество руды, добытой к концу 1945 г., превышает добычу на 7 декабря 1941 г. С конца 1945 г. добыча еще возросла, и общая цифра ее за 1947 г. значительно превысила среднюю добычу в довоенные годы. В 1947 г. здесь работали 33 обогатительные фабрики с общей суточной производительностью в 13 000 *т*, хотя бóльшая часть их работала не на полную мощность. Рудоплавильные заводы Банкер Хилл и Сулливан и цинковый завод Сулливан в Келлоге обрабатывают бóльшую часть концентратов, получаемых в округе, хотя значительное количество их отправляется на рудоплавильные заводы, находящиеся вне пределов Айдахо.

Геология

Месторождения округа Кёр д'Ален разбросаны на территории, простирающейся на 40 *км* в широтном направлении и на 24 *км* в меридиональном. На крайней ее северной оконечности, близ Маррей, добывается преимущественно золотоносная руда, а на крайней южной оконечности расположены самые богатые в мире месторождения серебра. Размещение важнейших месторождений показано на прилагаемом рисунке (фиг. 23), составленном Р. Е. Соренсоном. Из этого рисунка видно, что округ разделяется большим сбросом Осборн; вертикальная составляющая перемещения по этому сбросу превышает 4500 *м*, а горизонтальная, как полагают, измеряется километрами. Другие сбросы, из которых некоторые обнаруживают смещение более чем на 1500 *м*, расположены к северу и югу от сброса Осборн. К северу от последнего оси складок и ряд более крупных сбросов идут в меридиональном направлении, в то время как к югу от сброса Осборн складки и сбросы имеют широтное простирание.

Породы округа Кёр д'Ален распадаются на три следующие основные группы: 1) докембрийские породы свиты Бельт; 2) изверженные породы, интрудировавшие в свиту Бельт; 3) несцементированные пески, гравий и глины третичного и четвертичного периодов. Свита Бельт, наибольшая мощность которой в округе превышает, повидимому, 6000 *м*, сложена главным образом кварцитами, аргиллитами и известковыми породами. Наличие обильных стилолитов, волноприбойных знаков и косой слоистости указывает на то, что бóльшая часть этой свиты относится по своему происхождению к мелководным образованиям. В целях картирования свита Бельт была подразделена на шесть мощных литологических единиц — Притчард, Берк, Реветт, Сент Реджис, Уоллес и Страйпед Пик. Все эти формации, независимо от их исходного состава, местами подверглись интенсивному преобразованию в породы с обильным серицитом, глинистыми минералами и кар-



Фиг. 23. Рудный округ Кёр д'Ален; нанесены месторождения и главнейшие сбросы. Карта составлена на основании различных данных. (По Р. Е. Соренсону.)

Перечень месторождений: *1*—Джэм; *2*—Фриско; *3*—Блэк Бэр; *4*—Гекла; *5*—Пурмэн; *6*—Тайгер; *7*—Шерман; *8*—Стандард Маммот; *9*—Кюстер; *10*—Тамарак; *11*—Интерстэйт; *12*—Геркулес; *13*—Дэй Рок; *14*—Стар; *15*—Морнинг; *16*—Голд Хантер; *17*—Лаки Фрайдэй; *18*—Атлас; *19*—Моэ; *20*—Галена; *21*—Арджентайн; *22*—месторождения Кёр д'Ален; *23*—Нелли; *24*—Силвер Саммит; *25*—Честер; *26*—Полярис; *27*—Саншайн; *28*—Кресцент; *29*—Ласт Чанс; *30*—Банкер Хилл; *31*—Пэйдж; *32*—Гипотек; *33*—Либерэл Кинг; *34*—Денвер; *35*—Сидней; *36*—Питтсбург; *37*—Невада Стьюарт; *38*—Хайленд Сарпрайз; *39*—Дуглас; *40*—Конститьюшен; *41*—Голконда; *42*—Сноусторм; *43*—Джэм Стэйт; *44*—Рок Крик.

бонатами. Так как вследствие этого изменения окраска пород стала, в общем, светлее, то преобразованные участки обычно называют «зоной осветления». Там, где преобразование было неполным, осветленные породы могут включать остатки неосветленных пород.

Изверженные породы в округе Кёр д'Ален относятся исключительно к интрузивным разностям. Они представлены монцонитовыми породами, диабазами и лампрофирами. Монцонитовые породы обнажаются на протяжении 15 *км* в виде ряда штокоподобных тел, вытянутых в северо-восточном направлении. Близ некоторых монцонитовых интрузивов осадочные породы сильно метаморфизованы. По всему округу в изобилии встречаются дайки диабазов и лампрофиров от средне- до мелкозернистого сложения.

Рудные тела большей частью расположены вдоль хорошо очерченных трещин или зон скалывания и встречаются во всех членах свиты Бельт, хотя ни одного сколько-нибудь значительного рудного тела в формациях Уоллес и Страйпед Пик не обнаружено. Некоторые из рудных тел были найдены в монцонитовых породах; местами оказались слабо минерализованными некоторые диабазовые дайки.

Из числа рудных минералов здесь встречаются чаще всего галенит, сфалерит, тетраэдрит, халькопирит, пирит, пирротин, магнетит и арсенопирит. К числу менее обычных рудных минералов здесь относятся борнит, халькозин, стибнит, буланжерит, бурнонит, герсдорфит и шеелит. Продукты окисления этих минералов не распространяются далеко вглубь от поверхности. Кварц, сидерит и светлоокрашенные карбонаты различного состава представляют собой наиболее обычные здесь жильные минералы; барит в некоторых жилах встречается в довольно больших количествах; в отдельных же месторождениях жильная порода представляет собой сильно измененную боковую породу. Кондиционные содержания металлов в добываемой руде определяются в значительной степени ценами на металлы; что касается свинцово-цинковых руд, то кондиционное содержание, вероятно, составляет (в сумме) 10% свинца и цинка и около 290 *г/т* серебра. Бóльшая часть крупных месторождений данного округа залегает на значительной глубине — наиболее глубокие из них достигают глубины 1200 *м* и более от поверхности. Такая большая глубина залегания, существующая шкала заработной платы и инфляционные цены вызвали повышение себестоимости продукции; это побудило обратиться к механизации производства и изыскивать более дешевые методы работы. Так, например, в Банкер Хилл и Сулливан (наиболее крупные месторождения округа) приступили к разработке большого блока низкопроцентной свинцово-цинковой руды. Однако, вообще говоря, Кёр д'Ален всегда будет дорого-

стоящим округом из-за свойственной ему крепости горных пород, а в некоторых месторождениях из-за того, что породы находятся под большим давлением.

Будущее округа

Лица, хорошо знакомые с округом Кёр д'Ален, склонны смотреть на его будущее весьма оптимистически. Здесь на очень большой территории залегают промышленные рудные тела; известные в настоящее время рудники разбросаны на площади приблизительно в 640 *км*^{2}, представляющей большие трудности для поисков. Бóльшая часть рудных тел ассоциируется с сильно измененными породами, и именно эти зоны изменения указывают, в каком направлении должны вестись поисковые работы. По мере охвата округа картированием устанавливаются новые зоны изменения; в некоторых из них могут содержаться рудные тела, которые в будущем можно будет эксплоатировать. Уже сейчас, как об этом говорит Соренсон, ведутся работы по глубокому бурению, причем их результатов ждут с большим интересом. По мнению автора настоящей статьи, округ Кёр д'Ален должен обеспечить, исходя из современных темпов разработок, добычу свинца и цинка на многие годы.

ЛИТЕРАТУРА

Ransome F. L. and Calkins F. C., Geology and ore deposits of the Coeur d'Alene district, Idaho. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* **62**, 1908.

Jones E. L., A reconnaissance of the Pine Creek district, Idaho. *U. S. Geol. Survey Bull.* **710 A**, 1919.

Umpleby J. B., Geology and ore deposits of Shoshone County, Idaho. *U. S. Geol. Survey Bull.* **732**, 1923.

Shenon P. J., Geology and ore deposits near Murray, Idaho. *Idaho Bur. of Mines and Geology, Pamphlet* **47** (in co-operation with U. S. Geol. Survey), 1938.

Shenon P. J. and McConnel R. H., The Silver Belt of the Coeur d'Alene district, Idaho. *Idaho Bur. of Mines and Geology, Pamphlet* **50** (in co-operation with U. S. Geol. Survey), 1939.

McConnel R. H., Bunker Hill ore deposits in complex fractures. *Eng. Min. Jour.*, **140**, No 8, 40, 1939.

McKinstry H. E. and Svendsen R. H., Control of ore by rock structure in a Coeur d'Alene mine. *Econ. Geol.*, **37**, 215, 1942.

Knutson R. M., Coeur d'Alene mines yield billion dollars. *Min. Congress Jour.*, **31**, No 5, **36**, 1945.

Sorenson R. E., Deep discoveries intensify Coeur d'Alene activities. *Eng Min. Jour.*, **148**, No 10, 1947.

Р. ХЭНТ[1] *И Х. ПИКОК*[2]

СВИНЦОВЫЕ И СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДЫ В ОКРУГЕ БИНГЭМ, ЮТА

Краткое содержание

Свинцовые и цинковые месторождения в Бингэме залегают в зоне Пенсильванских осадочных пород, окружающих интрузивный шток Юта Коппер вместе с приуроченным ореолом пиритовой минерализации. Месторождения представляют собой трещинные жилы и замещения чечевицеобразных известняков, залегающих в существенно кварцитовой толще, и приурочены к трещинам, параллельным напластованию или его пересекающим. Рудный район интересен проявлением ясно выраженной зональности контактового метаморфизма и минерализации по отношению к штоку. Низкопроцентное пиритово-медное оруденение, развитое в штоке, далее в окружающих осадочных породах сменяется меднорудными телами с более высоким содержанием руды; эти тела, в свою очередь, уступают место свинцово-цинковым и свинцовым рудным столбам. Свинцово-цинковые руды встречаются во внешней части зоны окремненных известняков, а также в мраморизованных и в неизмененных известняках. Бо́льшая часть свинца и цинка добывалась из сульфидных руд. Содержание драгоценных металлов значительно, но непостоянно.

История месторождения и добыча

Округ Бингэм славится преимущественно медью, добываемой здесь в настоящее время почти исключительно из открытой выработки Юта Коппер, принадлежащей компании Kennecott Copper. Юта Коппер является географическим и, в известном смысле, минералогическим центром округа. До 1947 г. из этого большого карьера было добыто 485 000 000 *т* руды с содержанием около 0,9% меди, несколько десятых грамма серебра и несколько сотых грамма золота на тонну руды. Около 7 500 000 *т* медной руды с содержанием меди в основном около 2—4% было добыто в подземных выработках, окружающих шахту Юта Коппер.

Из этих подземных разработок было добыто также около 14 500 000 *т* свинцовых и свинцово-цинковых руд и 1 250 000 *т* кварцево-золотых и золото-серебряных руд с небольшим содержанием свинца, цинка и меди. Эксплоатация этих месторождений была начата в небольшом масштабе в прошлом столетии до начала работ в Юта Коппер и продолжается без каких-либо перерывов до настоящего времени.

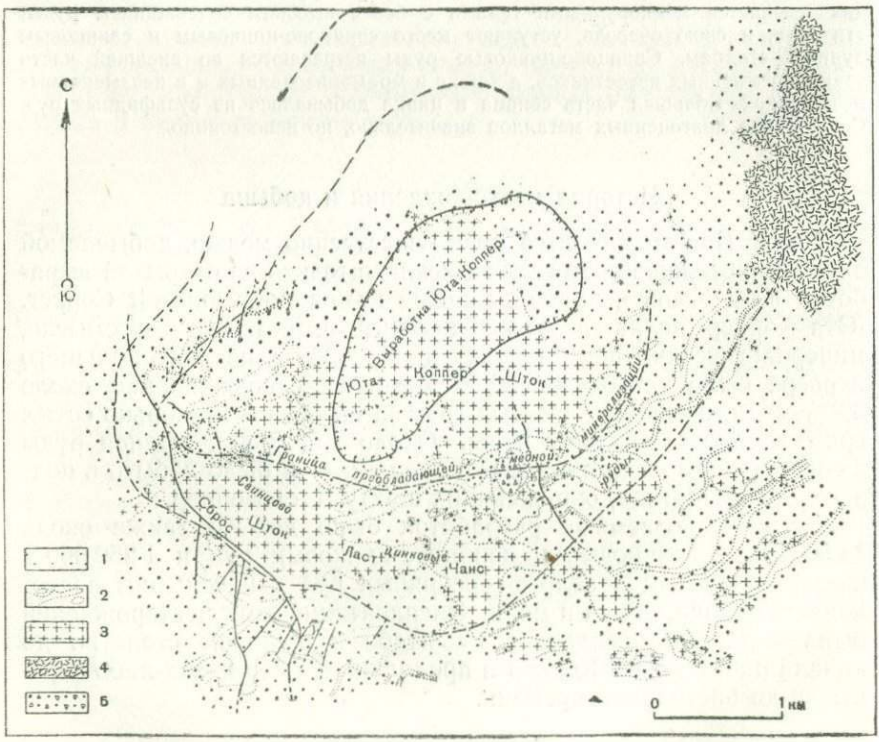
---

[1] R. N. Hunt, главный геолог компании U. S. Smelting Refining and Mining в Солт Лэйк Сити.

[2] H. G. Peacock, районный геолог той же компании в Бингэме.

Приводим ниже сводку по добыче и содержанию металлов в отдельных рудах за период с 1909 по 1946 г. включительно:

	Руда, тыс. *т*	Золото, *г/т*	Серебро, *г/т*	Свинец, %	Цинк, %	Медь, %
Свинцовые руды	3 240	1,84	148,0	11,99	—	0,59
Свинцово-цинковые руды .	8 870	1,76	139,0	8,88	5,00	0,29
Свинцово-медно-цинковые руды	195	1,05	50,2	2,25	—	1,54
Золото-серебряные кварцевые руды	1 125	3,83	117,4	0,90	0,78	0,95
Медные руды (исключительно из поверхностных месторождений)	6 710	2,04	38,0	0,03	—	2,44

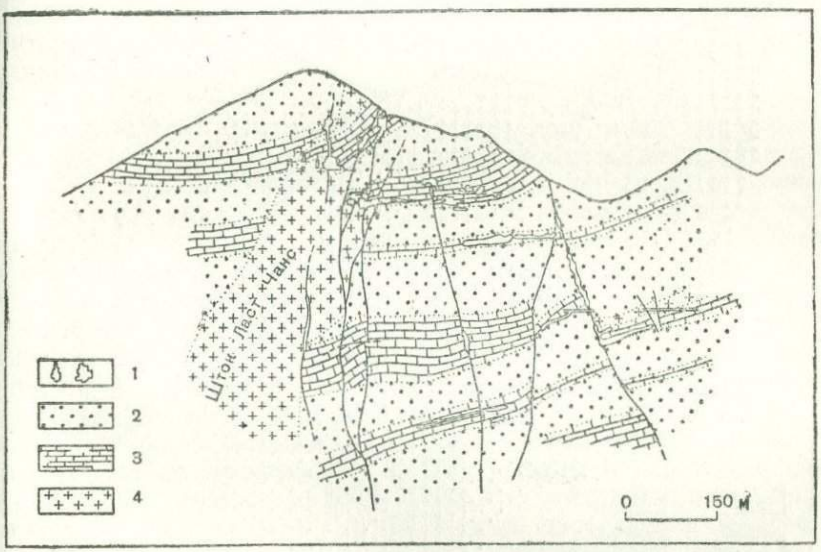


Фиг. 24. Геология поверхности продуктивной части округа Бингэм, Юта.

1—кварциты; *2*—известняки; *3*—монцонит; *4*—андезитовые потоки; *5*—брекчии.

Геология рудных месторождений

Общие замечания. Свинцово-цинковые месторождения округа Бингэм относятся к двум типам: к типу трещинных жил и к типу метасоматических залежей. Бо́льшая часть их представляет собой замещения известковых горизонтов вдоль трещин и между ними. Эти трещины принадлежат двум структурным типам:



Фиг. 25. Широтный разрез штока Юта Коппер; показаны свинцово-цинковые рудные тела в трещинах и в известняке.

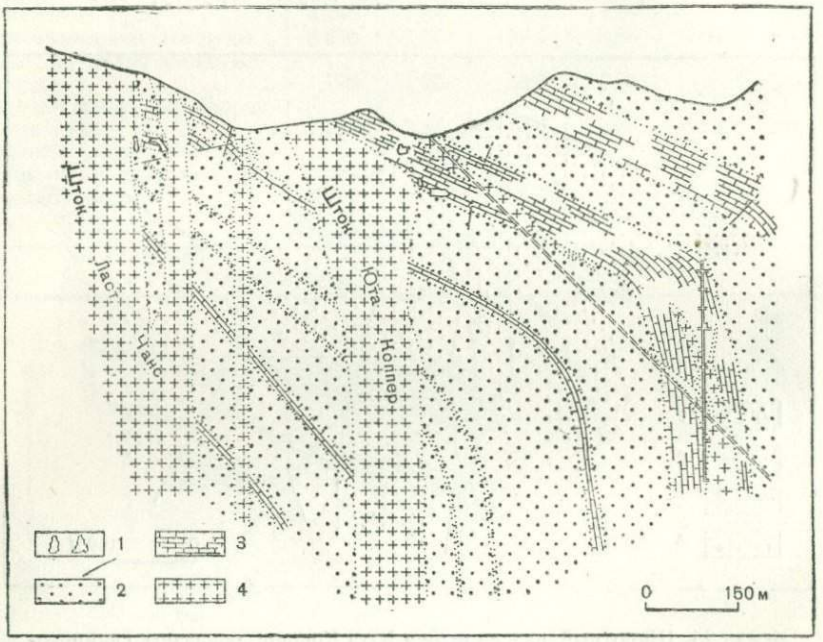
1 — забои в свинцово-цинковых рудах; *2* — кварциты; *3* — известняки; *4* — монцонит.

а) трещины в плоскости напластования, б) трещины, пересекающие напластование под большими углами (до 90°). Встречаются рудные тела, образованные в результате замещения известняковых горизонтов по всей их мощности, достигающей 30—45 *м*. Установить локализующее влияние какой-либо структуры в таких обширных телах замещения иногда трудно.

Горизонты известняка, вмещающие руды «замещения», составляют менее 10% Пенсильванской свиты, которая имеет мощность 2286 *м* и состоит в основном из кварцитов и известняков, содержащих небольшие количества глинистого материала. В чисто кварцитовом разрезе известняки встречаются в виде линз. Они содержат переменное, но обычно существенное количество песча-

нистого материала, нередко составляющего главную часть породы как по объему, так и по весу [1].

В результате регионального складкообразования эти осадочные породы были смяты и образовали серию открытых складок, погружающихся в северо-западном направлении. В широкую синклинальную складку, около 5 *км* в поперечнике, интрудировали



Фиг. 26. Меридиональный разрез через западный конец штока Юта Коппер
1 — выработки; *2* — кварциты; 3 — известняки; *4* — монцонит.

два неправильно удлиненных штока, взаимосвязанные между собой и сопровождаемые многочисленными силлеобразными апофизами. Эти интрузии прорывают как Пенсильванские осадочные породы, так и несогласно перекрывающие их андезитовые потоки, относимые к миоцену. Они представлены породами порфиритового типа, варьирующими от диоритов до кварцевых монцонитов.

Главная часть рудного тела Юта Коппер расположена в пределах северной половины северного штока, характеризующейся развитием трещин скалывания и тонкой (вплоть до микроскопической) трещиноватости. К трещинам приурочены пленки и про-

[1] О петрографии известняков Бингэм и их изменении см. *Am. Inst. Min. and Met. Engrs., Trans.*, 70, 884—903 (1924).

жилки пирита и очень незначительное содержание халькопирита и халькозина в кремнистой жильной породе. Это пиритовое оруденение при различной степени окремнения распространяется неравномерно за пределы промышленного контура[1] рудного тела Юта Коппер и продолжается в зону высокопроцентных медных руд. Богатые медные руды, так же как и свинцово-цинковые руды, связаны с зоной, окружающей шток Юта Коппер, а также с неясным ореолом пиритового оруденения вокруг штока. С точки зрения оруденения и силикатных изменений, более крупный, южнее расположенный шток Ласт Чанс представляется сравнительно инертным и, повидимому, не сопровождается минерализацией.

Зональность. Округ Бингэм отличается ясно выраженной зональностью распределения контактовых метаморфических изменений и минерализации по отношению к штоку Юта Коппер. В пределах внутренней части низкопроцентного рудного тела, представленного вкрапленными рудами, содержится до 1% меди в первичных сульфидных рудах. По направлению к западу вдоль простирания известняково-кварцитовой толщи это низкопроцентное пиритовое оруденение уступает место метасоматическим меднорудным телам, содержащим от 2 до 6% меди; эти последние далее сменяются метасоматическими свинцово-цинковыми рудными телами. В западной части округа отношение свинцово-цинковых руд к медным рудам может быть принято приблизительно равным отношению 1 : 2. Это соотношение промышленных руд распространяется на 2000—2500 *м* от центральной точки рудного тела и штока Юта Коппер и вдоль простирания осадочных образований, оно прослеживается до глубины около 1000 *м* ниже поверхности и повторяется в каждом из нескольких последовательно залегающих горизонтов известняка.

К югу от штока Юта Коппер центральная пиритовая площадь переходит также в осадочные породы: из последних близ штока Юта Коппер были добыты медные руды типа замещения в количестве, равном приблизительно четверти (или несколько менее) того, которое было получено из богатых месторождений свинцово-цинковых руд как трещинного типа, так и типа замещения. Месторождения этих двух типов расположены дальше к юго-востоку, радиально по отношению к штоку Юта Коппер и вкрест простирания осадочных пород.

Минералогический состав. В первые годы было добыто небольшое количество окисленных руд, однако основной продукцией

[1] Очертания этого контура, несомненно, определяются до известной степени факторами, обусловленными характером карьерной разработки.

района являются сульфидные руды; они имеются в количестве, не обычном для юго-запада.

Из числа сульфидных минералов, встречающихся в свинцово-цинковых рудах, основными являются галенит, сфалерит, пирит; медьсодержащие сульфиды встречаются в меньших количествах. Важной составной частью являются золото и серебро, присутствующие в переменных количествах. Из числа жильных минералов здесь имеются кварц, кальцит и незамещенные минералы вмещающей породы, часто силикаты.

Золото встречается во всех сульфидах, но чаще всего в пирите. Серебро тесно ассоциировано с галенитом, реже с теннантитом и тетраэдритом. В виде исключения золото и серебро встречаются в форме самородков. Сфалерит присутствует в разновидностях — *от светлой медово-желтой до бурой и черной; марматитовые типы* преобладают, особенно в восточной части округа.

К числу менее обычных для свинцово-цинковых руд минералов относятся пирротин, борнит, ковеллин, халькозин, энаргит, спекулярит, реальгар, аурипимент и киноварь.

Бóльшая часть свинцово-цинковой руды представляет собой тяжелый, часто массивный сульфидный агрегат, от средне- до крупнозернистой текстуры, редко — тонкозернистый. Отдельные кристаллы галенита и сфалерита встречаются редко, хотя иногда и наблюдаются в жеодах и друзах.

Трещинные жилы представлены полосчатыми рудами и лентами сульфидов в кварцево-кальцитовой жильной породе; иногда нерудная масса представлена главным образом остатками от замещения вмещающих пород с полосчатостью, параллельной или ориентированной под острым углом к зальбандам жилы.

Радиальная зональность, выражающаяся в минералогическом составе руд, параллелизуется с теми изменениями, которые происходят в известняках, примыкающих к штоку Юта Коппер. Эти известняки интенсивно изменены на расстоянии от 300 до 1000 *м* вверх и к периферии от более крупных составляющих штока Юта Коппер. В центральной части известняки могут быть полностью преобразованы в силикаты, а иногда в ленточный роговик. Силикаты представлены большей частью снежно-белым волластонитом и диопсидом, бурыми гранатами; в меньших количествах — другими разнообразными контактово-метаморфическими силикатами. Силикатные изменения прослеживаются дальше всего вдоль трещин и зальбандов даек и силлей. Детали их распределения часто указывают на контролирующее влияние проницаемых структур. Силикатовый материал, нередко переслаивающийся с мраморизованным известняком, по простиранию формаций и в направлении к периферии и к верху интрузивного массива уступает место белому, полностью мраморизованному известняку; последний, в свою очередь, сменяется на расстоянии 300—500 *м*

от штока темносерым, совершенно неизмененным или незначительно измененным известняком.

Медные руды, типа замещения, были установлены в сильно силикатизированных и мраморизованных участках. В западной части округа свинцово-цинковые руды были найдены в самой внешней части силикатизированных и мраморизованных известняков и распространяются на некоторое расстояние к западу (т. е. к периферии метаморфического ореола) в «черный», мало измененный известняк. В южной части штока свинцово-цинковые руды в изобилии встречаются в сильно силикатизированном белом мраморизованном известняке. В восточной части штока бо́льшая часть свинцово-цинковых руд была найдена за пределами силикатизированных участков в темносером, иногда мраморизованном, но в других отношениях мало измененном известняке. Свинцово-цинковые руды, находящиеся на самой периферии, как западной, так и восточной частей округа, залегают в сером мало измененном известняке.

Свинцово-цинковые жильные тела, точно ограниченные стенками трещин, встречены на глубине в пределах штока и рудного тела Юта Коппер, но такие месторождения представляют исключение.

Содержания драгоценных металлов значительны, но непостоянны. Местами содержание золота, особенно в некоторых трещинах, превышает 28,5 *г*. Содержание серебра в некоторых свинцово-цинковых рудах периферической части современной промышленной площади весьма значительно.

«Брекчиевые трубы». В поясе, окружающем свинцово-цинковое оруденение, кое-где встречаются почти вертикальные брекчиевые трубы эллиптического сечения, диаметр которых доходит до 150 *м* и более. В составе брекчий имеются обломки всех встречающихся в районе пород, включая и монцонит, погруженные в основную массу, которая обычно также раздроблена. Эти интересные эрратические образования мало связаны со структурой, так как они были внедрены на место силами, слишком мощными, чтобы на них могли оказать воздействие различия в компетентности структур и формаций. Они возникли в нескольких точках и образовали ломаный полукруг к юго-западу, югу и востоку от штока Юта Коппер. Некоторые из этих труб относятся к более позднему времени, чем апофизы штока и андезитовых лав, залегающих на нижнем восточном склоне хребта Окирр. Поскольку эти структуры пересекаются трещинами, содержащими свинцовые и цинковые сульфиды, они должны быть отнесены, по крайней мере частично, к дорудному времени. Их происхождение сопряжено с вулканическими процессами, возможно, одновременными с самими монцонитовыми интрузивами.

С. ЛАСКИ[1], *А. ХОГЛАНД*[2]

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ РУДНЫЙ РАЙОН, НЬЮ-МЕКСИКО

Краткое содержание

Район занимает четвертое место по добыче цинка в США. Добыча свинца и цинка начала развиваться в нем в 1902 г. и к концу 1947 г. достигла 520 000 *т* цинка и 75 000 *т* свинца.

Район расположен на северной оконечности физиографической провинции Бэсин Рэндж, в участке, где миоценовые (?) вулканические породы плато Колорадо были эродированы, вследствие чего обнажились более древние породы с содержащимися в них рудными месторождениями. Эти более древние породы включают осадочные формации от кембрийского до мелового возрастов — разнообразные силли и лакколиты, более поздние штоки гранодиоритов, связанные с ними свиты даек. Современные речные отложения в пустынной области Бэсин Рэндж покрывают все другие породы. Вокруг каждого штока развивается контактово-метаморфический ореол и минерализованная зона. Штоки обладают далеко не обычными формами. Установлено, что складкообразование здесь произошло: 1) в результате внедрения силлей и лакколитов, 2) после этого внедрения, но до инъекции штоков, 3) в результате вторжения штоков. История образования сбросов значительно сложнее: смещение, наблюдаемое на многих из имеющихся здесь сбросов, представляет результат повторного движения на протяжении по крайней мере шести, а может быть, даже восьми отдельных периодов. Самый ранний период сбрососообразования предшествовал появлению штоков; последнее сбрососообразование произошло в современную эпоху. Дайковые свиты, метаморфические ореолы и минерализованные окружающие зоны некоторых штоков перекрывают друг друга, что создает неясную картину генетической связи оруденения с изверженными породами.

Среди месторождения цинка и свинца выделяются следующие три типа:

1) Не содержащие свинца цинковые месторождения в гранатово-пироксеновых зонах контактово-метаморфических ореолов.

2) Тела замещения в известняке, иногда ассоциированные с силикатами, подобными тем, которые наблюдаются в метаморфических ореолах; в других случаях таких силикатов не наблюдается.

3) Жильные месторождения свинца, цинка и меди.

Месторождения первого и второго типов наблюдаются в формациях пенсильванского и миссисипского возрастов; месторождения третьего типа встречаются главным образом в силлях и лакколитах. Отдельные рудные тела первого типа содержат запасы до 600 000 *т*, а тела второго и третьего типов — до 200 000 *т*. Среднее содержание цинка, приблизительно одинаковое во всех этих рудных телах, —около 14%. Во втором типе содержится меньше меди, свинца и серебра; третий тип содержит около 10% свинца, 5% меди и несколько десятков граммов серебра на 1 *т*.

Современная промышленная часть района содержит подсчитанные запасы цинка, равные 1 500 000 *т*. Перспективы у района хорошие как в отношении

---

[1] S. G. Lasky, геолог Геологической службы США.

[2] A. D. Hoagland, директор рудника, ранее районный геолог компании Empire Zinc.

открытия новых руд на площади, разрабатываемой в настоящее время, так и возможностей расширения границ продуктивных площадей в уже известных центрах оруденения, а также открытия новых центров минерализации, скрытых под более молодыми породами.

Введение

Начиная с 1944 г. Центральный рудный округ в Нью-Мексико занимает четвертое место по добыче цинка в США. Основная продукция получалась здесь главным образом на рудниках, сосредоточенных в следующих трех районах: в районе Гановер, расположенном вокруг южного выступа штока Гановер Фьерро; на участке Баярд, к юго-западу от штока Санта Рита, и в районе Коппер Флэт, вокруг штока Коппер Флэт; районы перечислены в порядке их относительной продуктивности (см. фиг. 28 и 29). Главными рудниками Центрального района являются: рудник Гановер, принадлежащий компании Empire Zinc; рудники Пьюабик и Кирней в Гановере, принадлежащие компании Peru Mining; рудник Освальдо в Гановере, принадлежащий корпорации Kennecott Copper; рудник Коппер Флэт в Коппер Флэт, принадлежащий компании Peru Mining; рудный узел Граунд Хог, на участке Баярд, принадлежащий компании American Smelting and Refining; рудный узел Булл Фрог, на участке Баярд, принадлежащий компании U. S. Smelting Refining and Mining; рудник Блэк Хоук, расположенный между Гановером и Баярдом, принадлежащий компании Black Hawk Consolidated Mining.

Разнообразные явления, связанные с инъекцией штоков Санта Рита и Гановер Фьерро, — сопутствующие дайки, метаморфические ореолы и особенности минерализации, перекрывают друг друга, что обусловливает неясную картину их взаимоотношений. Хотя одно время и полагали, что геология района уже достаточно хорошо изучена, однако в настоящее время установлено, что многое остается еще не выясненным в отношении истории магматогенной минерализации, а также в отношении генетической связи минерализации с интрузиями. Так, например, хотя и представляется несомненным, что цинковые месторождения в Гановере и Коппер Флэт связаны со штоками, с которыми они ассоциированы, однако нельзя с уверенностью утверждать, что месторождения цинка участка Баярд в какой-либо мере связаны со штоком Санта Рита, к которому они пространственно приурочены.

В результате интенсивной добычи, начиная с 1941 г. и по настоящее время, и исследований, ведущихся с 1945 г. Геологическим комитетом США, получено много новых сведений, касающихся всего этого округа. Однако ввиду сильной коммерческой конкуренции эти данные в значительной их части до сих пор еще держатся в секрете, а потому в настоящей статье они могут быть использованы только в общих чертах.

Мы имеем возможность широко использовать лишь неопубликованные работы 1940—1946 гг. В. Горацио Брауна, районного геолога компании Empire Zinc.

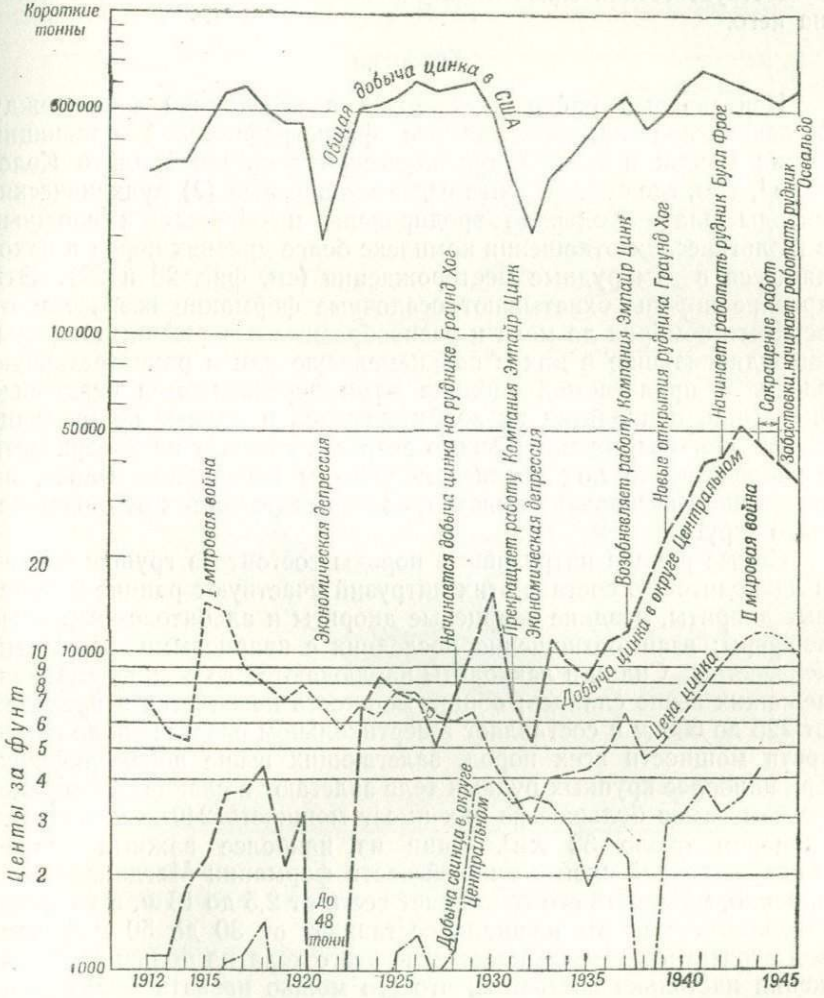
Общая характеристика. Центральный рудный округ представляет собой юго-западный угол штата Нью-Мексико; он расположен приблизительно между 108°03′ и 108°09′ западной долготы и 32°44′ и 32°53′ северной широты. Площадь округа равна приблизительно 80 *км*^{2}; границы его неправильные и неясные.

Описываемый округ представляет сочетание пустынной южной области и горной северной области. Высотные отметки колеблются в пределах приблизительно от 1750 до 2400 *м*, но в большей части района равняются 1830—2000 *м*. Участки Гановер и Санта Рита залегают в углублениях рельефа, приуроченных к относительно мягким породам штоков Гановер Фьерро и Санта Рита. Шток Коппер Флэт находится в подобной же котловине, но меньшей по своим размерам. В районе имеется мало водных потоков, и вода, как правило, получается из скважин, которые пробурены на глубину иногда до 600 *м*. Значительные количества воды встречаются в некоторых рудниках, но вопрос о воде не составляет здесь серьезной эксплоатационной проблемы.

Добыча. К концу 1947 г. в Центральном округе было добыто около 520 000 *т* цинка и 75 000 *т* свинца. Несмотря на то что этот округ давно уже известен своими месторождениями медных и железных руд, добыча цинка и свинца началась только в 1902 г., когда в Гановерской части района начала свою деятельность компания Empire Zinc. Свинец всегда являлся здесь второстепенной составной частью руд, причем многие из главных цинково-рудных тел не содержали свинца, а потому для добычи свинца потребовалось установление премиальных цен. Хотя на описываемой территории (у Санта Рита) и находится одно из самых крупных месторождений меди в США, однако цинковые месторождения этого района содержат лишь небольшой процент меди и редко (если не считать особых геологических условий) здесь имеется медь в количествах, допускающих ее извлечение. Магнетитовые месторождения разрабатываются в северной части оконечности Фьерро штока Гановер Фьерро, в Гановере, в Санта Рита и в Коппер Флэт.

На фиг. 27 приводятся данные о добыче цинка и свинца в Центральном районе за период с 1912 по 1946 г. В 1912 г. добыча цинка впервые достигла цифры 1000 *т*. Общая добыча цинка за десятилетие, предшествовавшее 1912 г., лишь немногим превысила 1000 *т*, а добыча свинца была немного ниже этой цифры. В 1921 г., являвшемся годом экономической депрессии, добыча фактически прекратилась; она возобновилась в 1923 г.

и с тех пор неизменно остается относительно высокой. Ко времени экономического кризиса несколько других фирм приступило к эксплоатации залежей в этом округе, так что происшедшее



Фиг. 27. Добыча цинка и свинца в Центральном округе, Нью-Мексико, в коротких тоннах (1 короткая тонна = 0,9072 метрической тонны).

в этот момент закрытие рудника Empire Zinc не оказало такого влияния, как в 1921 г. Исходя из предположения, что экономические условия в районе должны сохраниться благоприятными надолго, можно ожидать, что на будущее время годовая добыча

должна остаться по крайней мере на том же уровне, на каком она была в 1946 г., а именно — свыше 40 000 *т* цинка в год.

Как можно заключить из данных, приведенных на фиг. 27, существует тесная связь между размером добычи цинка и ценой на него.

Геология

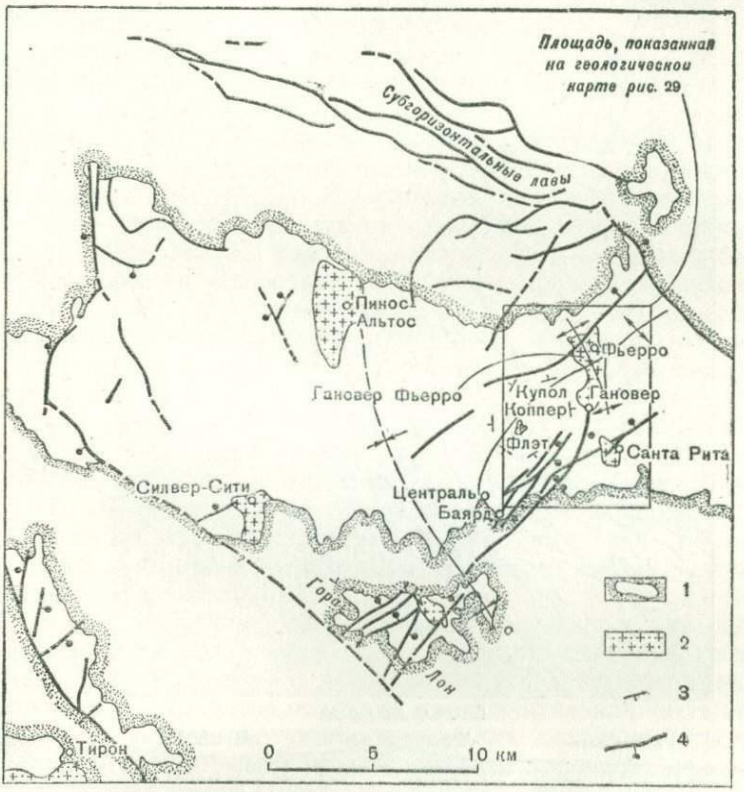
Центральный район расположен в переходной зоне между Мексиканской нагорной частью физиографической провинции Бэсин Рэндж и южной вулканической депрессией плато Колорадо [1], там, где субгоризонтальные миоценовые (?) вулканические породы плато Колорадо эродированы и обнажается сложный в геологическом отношении комплекс более древних пород и находящиеся в нем рудные месторождения (см. фиг. 28 и 29). Эти древние породы охватывают осадочные формации возрастом от верхнего кембрия до мела и разнообразные изверженные породы, интрудировавшие в них в позднемеловую или в раннетретичную эпоху. В прилагаемой таблице нами перечисляются осадочные формации, приводятся их характеристики и данные об их мощности. Породы докембрийского возраста выходят на поверхность непосредственно под верхнекембрийским песчаником Блисс, на расстоянии нескольких километров на северо-восток от описываемого округа.

Самые ранние интрузивные породы состоят из группы силлей и лакколитов; в составе этих интрузий участвуют ранние кварцевые диориты, поздние кварцевые диориты и альбитово-кварцевые порфиры; взаимоотношения последних с кварцевыми диоритами неизвестны. Силли и лакколиты наблюдаются во всех формациях, лежащих выше сланцев; общая мощность колеблется в пределах от 225 до 668 *м* и составляет в вертикальном разрезе около одной трети мощности всех пород, залегающих выше докембрийских. Три наиболее крупных рудных тела залегают в сланцах Колорадо, причем самое большое из них имеет мощность 240 *м* и площадь размером около 32 *км*^{2}. Один из наиболее важных силлей образует тонкий слой в нижней части формации Магдалена; как правило, мощность его составляет всего от 2,5 до 13 *м*, в то время как занимаемая им площадь составляет от 30 до 50 *км*^{2}, причем стратиграфическое положение этого тела на большом протяжении настолько постоянно, что его можно назвать «маркирующим силлем». В Коппер Флэт огромное вздутие на маркирующем силле образует погребенный лакколит 4,8 *км* в диаметре и 270 *м* мощностью.

Обнажения альбитово-кварцевых порфиров находятся вне пределов описываемого округа в 8—9,5 *км* к востоку от Санта

[1] Fenneman N. M., Physiography of Western United States, N. Y., 1931.

Рита, но эксплоатационные и разведочные данные указывают на широкое распространение еще не вскрытых эрозией тел, сложенных этими породами. До настоящего времени альбитово-кварцевые порфиры были найдены только в формации Магдалена и в сланцах Перча, в тех же горизонтах, в которых встречаются

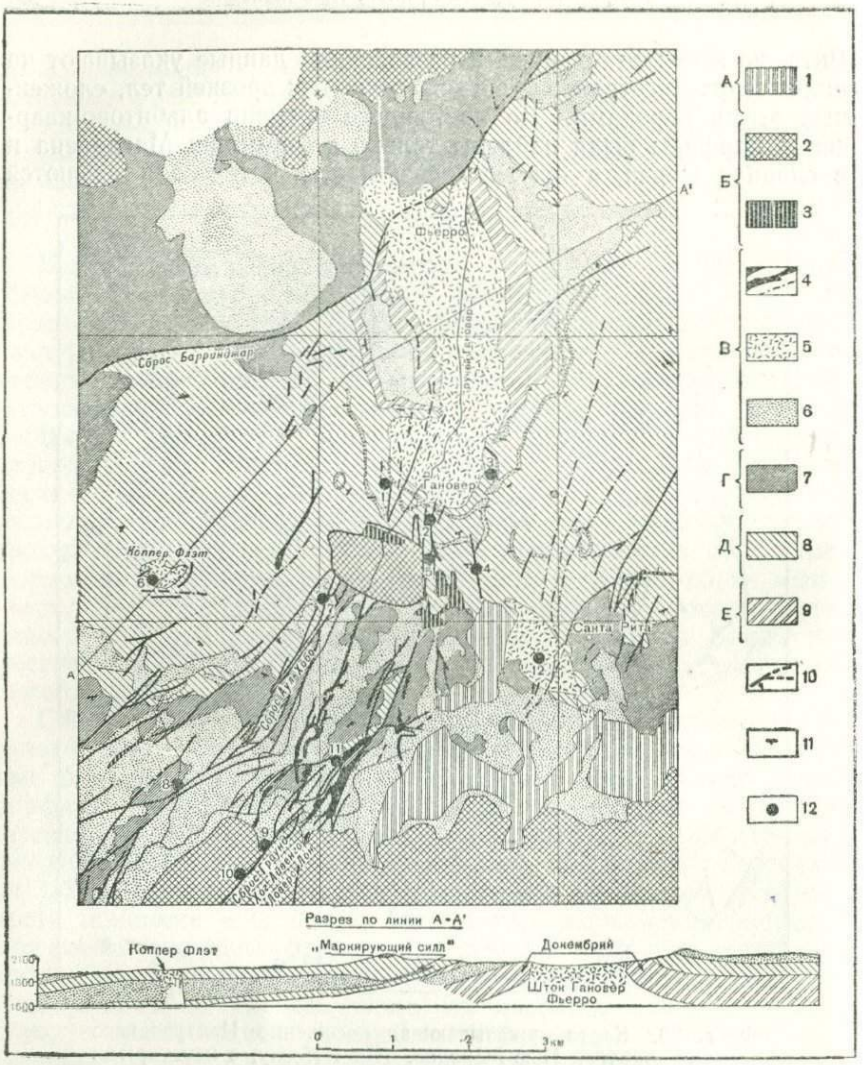


Фиг. 28. Карта, показывающая положение Центрального рудного округа, Нью-Мексико. (По Пэйджу, с некоторыми изменениями.)

1—границы третичных вулканических пород и отложений долин; *2*—штоки; *3*—падение и простирание пластов; *4*—сброс с указанием опущенного крыла.

и кварцевые диориты. Единственным присутствующим в породе полевым шпатом является альбит и именно чистый альбит № 0; эти факты позволяют думать, что в данном случае мы имеем измененную (альбитизированную) породу.

Силли и лакколиты раздвигают формации, в которых они залегают, так что, если бы их удалить, то разрез осадочных пород оказался бы полным и непрерывным. Породы, лежащие над



Фиг. 29. Обобщенная геологическая карта и разрез основной части Центрального рудного округа, Нью-Мексико.

Условные обозначения: А. *Четвертичные отложения*: *1*—крупные отвалы и осыпи. Б. *Третичные отложения*: *2*—вулканическая порода; *3*—кварцлатитовые дайки и некки. В. *Меловые или третичные породы*: *4*—гранодиоритовые и кварцмонцонитовые дайки; *5*—гранодиоритовые штоки; *6*—кварцдиоритовые силли и лакколиты. Г. *Меловые отложения*: *7*—кварциты Бертус и глинистые сланцы Колорадо. Д. *Карбоновые и пермские отложения*: *8*—формация Або, группа Магдалена, известняки Лэйк Валли. Е. *Кембрийско-девонские отложения*: *9*—известняки, глинистые сланцы и песчаники; *10*—сброс; *11*—простирание и падение пластов; *12*—рудники.

1—Гановер; *2*—Рипаблик; *3*—Пьюабик; *4*—Керней; *5*—Освальдо; *6*—Коппер Флэт; *7*—Блэк Хоук; *8*—Буял Фрог; *9*—Граунд Хог; *10*—Лаки Билл; *11*—Айвенго; *12*—Чайно. (Геологические данные по А. Г. Спенсеру, С. Пэйджу и С. Г. Ласки; пересмотрены и дополнены С. Г. Ласки, 1947 г.)

ними, приподняты и образуют складки, соответствующие контурам интрузивов. Так, например, погребенный лакколит Коппер Флэт поднял формацию, лежащую над ним, причем образовался выпуклый купол; мощный силль в сланце Перча, повидимому, оказал такое же действие. Почти во всех случаях силли и лакколиты интрудируют либо в почву, либо в кровлю сланцев, либо образуют интрузии внутри сланцевого горизонта.

Три штока, выходящие на дневную поверхность в описываемом округе — между Гановером и Фьерро, у Санта Рита и у Коппер Флэт, прорывают осадочные отложения, а также содержащиеся в них силли и лакколиты. То немногое, что известно нам сейчас о форме штоков, говорит, что они далеки от обычных. Шток Гановер Фьерро обладает самой большой поверхностью обнажения — *длина его составляет около 4 км, средняя ширина* — несколько более 800 *м*. Только на южном его конце выработки дают возможность наблюдать его форму, причем установлено, что в этом месте шток имеет подошву (см. фиг. 30*а*) и местами (Шмитт, 1939) ограничивается надвигом. Осадочные породы были сдвинуты в сторону и в дальнейшем подверглись пластической деформации.

Вторым по величине из трех упомянутых штоков является шток Санта Рита, имеющий в диаметре на поверхности около 800 *м*. Очертания его нижней части в настоящее время еще не выяснены. В некоторых местах стенки интрузива почти вертикальны и существующие структурные отношения, таким образом, характерны для типичного штока; в других же местах контакты пока еще не определены.

Шток Коппер Флэт, прорывающий погребенный кварцево-диоритовый лакколит Коппер Флэт, представляет собой небольшое тело длиной около 600 *м* и шириной 300 *м* на поверхности; данные горных выработок показали, что значительная часть этого массива залегает на расстоянии нескольких десятков метров от поверхности, причем книзу массив разделяется на дайковидные и трубообразные корни. Пласты вдоль контакта нарушены и образуют ряд кулисообразно расположенных антиклиналей и синклиналей, частично опрокинутых и окружающих этот массив.

Все штоки относятся Спенсером и Пэйджем (1935, стр. 35—39) к гранодиоритам и описываются как сходные в петрографическом отношении. Однако, насколько нам известно, массив Гановер Фьерро представляет собой простой интрузив, тогда как в отношении штоков Санта Рита и Коппер Флэт все больше накапливается данных в пользу того, что они представляют собой сложные тела.

Штоки сопровождаются сериями сателлитов и апофиз в виде даек, представленных по меньшей мере двумя типами пород различного возраста: более ранними гранодиоритами (сходными

Таблица 4

ФОРМАЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ РУДНОМ ОКРУГЕ, НЬЮ-МЕКСИКО

Система	Отдел	Формация	Характеристика	Мощность, *м*
Четвертичная	Современный	Аллювий	Несцементированные песок, гравий и глина, частично заполняющие пустынную низину к югу от описываемого района; отложения, оставляемые потоками; поверхностный слой рыхлого гравия на холмах и террасах	
		Несогласие		
	Плиоцен	Долинные отложения	Сцементированные и деформированные песок, гравий или глина, переслаивающиеся с базальтовыми потоками, в пустынной низине к южной части района и к югу от него	300 +
		Несогласие		
	Плиоцен (?)	Потоки лавы	Потоки андезитов или базальтов	
Третичная		Несогласие		
	Миоцен (?)	Потоки кварцевых латитов	Псевдослоистые потоки, являющиеся продолжением лавовых полей плато Колорадо, расположенных к северу	450
		Гравий, песок и туф	Туфовый гравий, отсортированный водой вулканический песок и слои туфа	3—170
		Несогласие		
Меловая	Верхний мел	Глинистые сланцы Колорадо	Глинистые сланцы нижней толщи, глинистые сланцы и песчаники верхней толщи	300 +
	Верхний (?) мел	Кварциты Бэртус	Кварциты с подчиненными песчаниками, известковыми и глинистыми пластами	15—40

Продолжение

Система	Отдел	Формация	Характеристика	Мощность, *м*
		Несогласие		
Пермская (?)	Формация Або		Красные глинистые сланцы с тонкими пластами известняка и известкового конгломерата	0—60
Каменноугольная	Пенсильванский	Группа Магдалена, нерасчлененная	Главным образом известняки с прослоями глинистых сланцев. Выдержанный прослой сланцев мощностью 12—40 *м* приблизительно в середине толщи; второй слой сланцев, мощностью 6 *м* в основании; оба прослоя сланцев представляют хорошие маркирующие горизонты. Формация Магдалена вмещает железные руды (Гановер, Санта Рита и Коппер Флэт), цинковые руды (Гановер, Коппер Флэт и Баярд) и медные руды (Коппер Флэт)	240
		Несогласие		
	Миссисипский	Известняки Лэйк Валли	Серые известняки в нижней части; верхние белые кристаллические криноидные известняки мощностью 30—45 *м*. Вмещающая порода для цинковых руд и некоторой части железной руды; криноидный известняк — главная рудовмещающая порода в округе	150
Девонская	Верхний девон	Глинистые сланцы Перча	Глинистые сланцы с пластами известняка в верхней части	45—90
		Несогласие		
Силурийская		Известняки Фюссельман	Кремнистые доломиты	12+

Продолжение

Система	Отдел	Формация	Характеристика	Мощность, *м*
Ордовичская	Верхний ордовик	Известняки Монтойя	Доломиты и кремнистые доломитовые известняки	55—135+
	Нижний ордовик	Известняки Эль Пасо	Доломиты и известняки, песчанистые в верхней части	150
Кембрийская	Верхний кембрий	Песчаник Блисс	Глауконитовые и гематитовые песчаники, частично кварцитовые	60
Докембрийская			Граниты, гнейсы и кристаллические сланцы	

с одной из фаз штока Санта Рита и части штока Гановер) и более поздними кварцевыми монцонитами (несколько похожими на шток Коппер Флэт и еще более на вторую фазу штока Санта Рита, а также на штоковидный массив в Лон Маунтин к югу от описываемого района; см. фиг. 28). Возможно, что имела место третья инъекция даек, связанная со штоками; представляется вероятным также, что будет установлено наличие здесь и еще дальнейших инъекций.

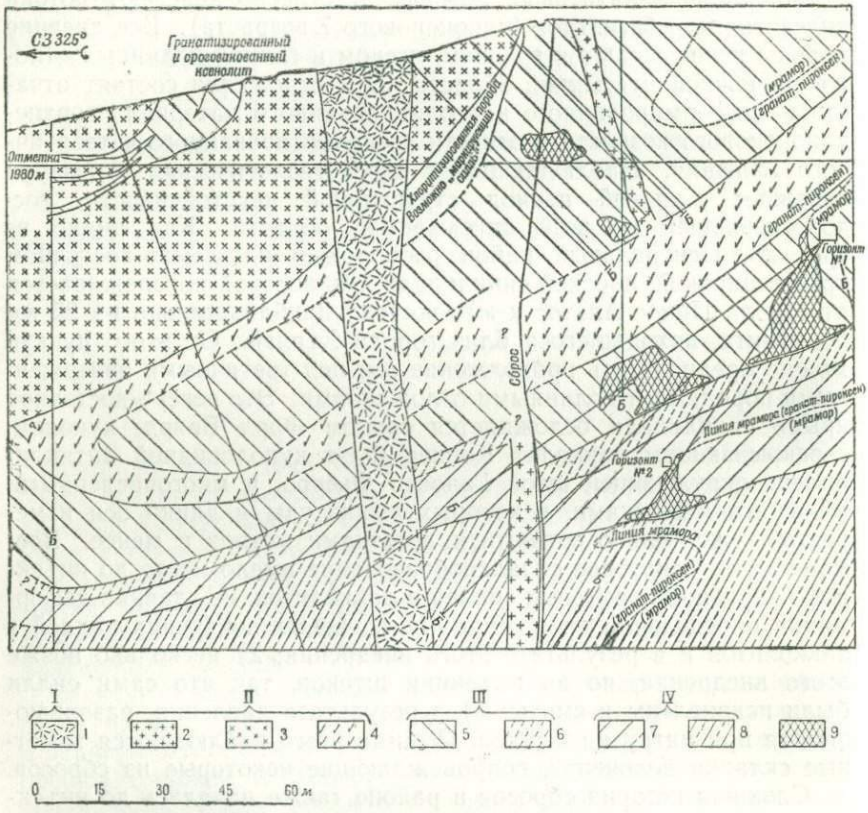
Вокруг каждого штока имеется «контактово-метаморфический» ореол; ореолы Санта Рита и Гановер Фьерро переходят в непрерывную полосу. Ореол Санта Рита детально не изучался; ореолы Гановер и Коппер Флэт обнаруживают классическую зональность. Здесь различается внутренняя гранато-пироксеновая зона, промежуточная зона мрамора и внешняя актинолито-тремолитовая зона. В южной и северной частях округа миоценовые (?) породы, состоящие из гравия, песка и туфов и перекрытые большими потоками кварцевых латитов, залегают на более древних породах и содержащихся в них рудных телах, а местами непосредственно на месторождениях окисленных руд. Размыв миоценовых (?) пород в большей части округа произошел недавно, но с тех пор домиоценовая эрозионная поверхность сильно изменилась под влиянием процесса эрозии. В Гановере и еще в одном или двух местах имеется несколько небольших некков кварцевого латита, в петрографическом отношении сходных с потоками, но отличающихся от них своим внешним видом; по всему району наблюдаются многочисленные порфировые дайки сходного со-

става. Эти дайки и некки моложе, чем гравий, песок или туф, подстилающие кварцево-латитовые потоки; предполагается, что они играли роль питательных каналов для потоков (Пэйдж, 1916; Ласки, 1936).

На кварцево-латитовых потоках несогласно залегают потоки андезитов или базальтов (плиоценового ? возраста). Все древние породы перекрываются гравием, песком и глиной долинных отложений южной пустынной области. Эти отложения состоят отчасти из деформированного консолидированного материала верхнеплиоценового возраста и отчасти несцементированного четвертичного аллювия. Наблюдающаяся здесь геологическая структура отражает длинный период структурной неустойчивости, господствовавшей во всей описываемой области. Как видно из фиг. 28, Центральный район расположен на северо-восточном крыле широкой, плоской синклинали, ось которой прослеживается от города Пинос Альтос к юго-востоку приблизительно на 25 *км* до пункта, находящегося близ города Харлэй. От этого пункта можно предполагать продолжение оси под третичными изверженными породами и долинными отложениями. Это северо-восточное крыло синклинали осложняется сводом Форд Баярд, куполом, перекрывающим лакколит Коппер Флэт, куполовидной антиклиналью, окружающей шток Гановер Фьерро, и многочисленными меньшими складками, в которых амплитуды и длина оси измеряются уже только сотнями и десятками метров и менее. Возможно, что некоторое складкообразование имело место до инъекции кварцево-диоритовых силлей и лакколитов, но главная деформация определенно произошла: 1) во время внедрения силлей и лакколитов и в результате этого внедрения; 2) несколько позже этого внедрения, но до инъекции штоков, так что сами силли были искривлены и смяты; 3) в результате давления, развивающегося при интрузии штоков. Помимо этого наблюдаются заметные складки волочения, сопровождающие некоторые из сбросов.

Сложная история сбросов в районе также началась до инъекции штоков; смещение, наблюдающееся в настоящее время, во многих сбросах является результатом повторного движения вдоль одних и тех же зон на протяжении по крайней мере шести отдельных периодов: 1) послесиллевого, но дошткового; 2) послештокового и додайкового; 3) последайкового, но дорудного; 4) послерудного, но до отложения миоценового (?) гравия, песка и туфа; 5) послетуфового, но долавового; 6) послелавового, но додолинных отложений. Региональные данные позволяют предполагать существование седьмого периода, последовавшего за затвердением долинных отложений, и восьмого — в современную эпоху. Первый из этих периодов представлен, как полагают (Шмитт, 1935; Спенсер и Пэйдж, 1935), сбросом Барринджер (в северной части района) с вертикальным смещением около 300 *м*. Второй сброс,

образовавшийся, может быть, в более раннее время, — сброс Граунд Хог — Айвенго — Ловерс Лон — имеет амплитуду смещения около 1000 *м* и вертикальное смещение местами около



Фиг. 30*а*. Геологический вертикальный разрез через рудник Гановер.

I — третичные; II — меловые или третичные; III — пенсильванские слои карбона; IV — миссисипские слои карбона.

1 — дайка порфирового кварцевого латита; *2* — эпидотизированная гранодиоритовая или кварцмонцонитовая порфировая дайка; *3* — гранодиорит штока Гановер Фьерро; *4* — кварцдиоритовый порфирит („маркирующий силль"); *5* — известняк и глинистый сланец; *6* — глинистый сланец: маркирующий горизонт основания; *7* — слой криноидного известняка; *8* — слой серого известняка; *9* — цинковая руда. Б. Скважина алмазного бурения.

500 *м*; это самый большой и, вероятно, главный сброс района. Имеющиеся в настоящее время данные вызывают предположение, что одна ветвь этого сброса простирается к северу, к месту, где теперь находится шток Гановер Фьерро, а вторая ветвь тянется на восток, пересекая площадь Санта Рита и являясь по времени более ранней, чем шток, имеющийся здесь сейчас. Во

всяком случае известно, что этот сброс проявлял активность в течение каждого из перечисленных выше периодов, начиная со второго по шестой. Додайковое движение привело к образованию вертикального сброса порядка 300 *м*; последайковый дорудный вертикальный сброс составляет в среднем около 75 *м*; послевулканический вертикальный сброс составляет в целом около 100 *м*.

Рудные месторождения

Для большего удобства описания цинковые и свинцовые месторождения Центрального округа могут быть подразделены на три типа: 1) цинковые месторождения, не содержащие свинца и залегающие во внешней части гранатово-пироксеновых зон контактово-метаморфических ореолов; 2) тела замещения в известняке, обычно не содержащие свинца, иногда ассоциированные с силикатами, подобными тем, которые имеются в контактовых зонах; 3) жильные месторождения цинка, свинца и меди в сланцах Колорадо и в кварцево-диоритовых силлях, находящихся в этой формации.

Во многих местах месторождения типа 2 настолько близки к контактовым породам, что силикатовые массы, с которыми они ассоциированы, могут здесь являться не чем иным, как «выступами» контактово-метаморфических ореолов, простирающихся вдоль сбросовых зон, которые облегчили передачу тепла и материала на некоторое расстояние. Однако некоторые месторождения типа 2 расположены на расстоянии до 8 *км* от известных штоков или контактовых зон; для целей настоящей статьи представляется целесообразным рассматривать их раздельно, хотя у этих двух типов и имеется много общих черт.

В настоящее время еще нельзя в деталях объяснить некоторые неясные черты, присущие описываемым месторождениям; но эта неясность, вероятно, объясняется в основном тем, что месторождения связаны с различными интрузивными центрами. Имеющиеся здесь штоки внедрились неодновременно. Следовательно, различные явления, сопутствующие вулканической активности, как, например, инъекция даек, контактовый метаморфизм, гидротермальное изменение и образование руд, происходили в различное время, в различных местах района; поэтому местами наблюдаются их противоречивые взаимоотношения.

Месторождения в «контактово-метаморфических» ореолах

Общая характеристика. Месторождения этого типа встречаются в Коппер Флэт и вокруг южного выступа штока Гановер Фьерро. В Коппер Флэт рудные тела залегают в гранатово-пироксеновой зоне; в Гановере они залегают главным образом на внеш-

ней кайме этой зоны, примыкая к мрамору; они избирательно замещают силикаты, не распространяясь в мрамор. В Гановере бо́льшая часть цинково-рудных тел, залегающих в силикатной зоне, имеет по меньшей мере один контакт с мрамором и ни одно из них не находится на большом расстоянии от мрамора (см. фиг. 30*а*). Главные рудные тела, повидимому, залегают в тех же стратиграфических горизонтах, которые первоначально были наиболее подвержены замещению силикатными минералами, и вдоль тех же главных трещинных зон, которые были открыты для силикатного изменения.

Вдоль окремненного или контактово-метаморфического ореола штока Гановер Фьерро протягиваются две главные цинково-рудные зоны: одна вдоль восточной и другая вдоль западной стороны южного выступа штока; длинная ось обеих зон идет приблизительно параллельно меридиональному направлению контакта и меридиональному же направлению общей рудоконтролирующей структуры Центрального района. Там, где контактовая зона огибает южный конец штока и пересекает общую структуру, рудные тела связаны с меридиональными трещинами, независимо от направления контактовой зоны.

Наиболее крупные и богатые из разрабатываемых рудных тел находятся в верхнем (криноидном) горизонте известняка Лэйк Валли; в несколько меньшем количестве они имеются в нижней части формации Магдалена. Отдельные рудные тела достигают 750 *м* в длину, 25 *м* в высоту и 9 *м* в ширину. Шмитт (1942) описывает типичное или сложное рудное тело рудника Пьюабик как горизонтальную трубу в 180 *м* длиной, 9 *м* в диаметре, погружающуюся под углом 10°. «Приблизительно через 50 *м* то с одной, то с другой стороны ответвляются рукава, которые могут отходить от главной трубы по крайней мере на 50 *м*; эти ответвления больше похожи на пластовые залежи, чем главная труба». Месторождения этого типа до настоящего времени дали, главным образом с участка Гановер, почти 2 000 000 *т* сфалеритовой руды со средним содержанием цинка около 14%. Приводимые ниже данные анализов (Спенсер и Пэйдж, 1935) представляют собой средние цифры и относятся к нескольким тысячам тонн концентратов:

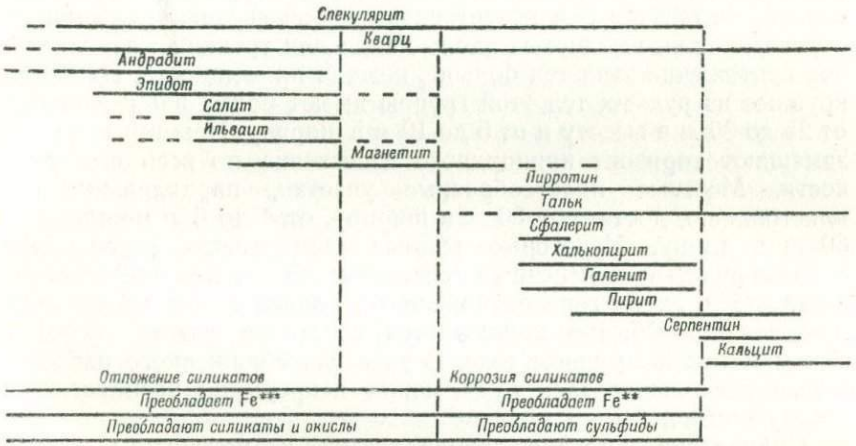
Цинк	17,49%
Свинец	0,13%
Железо	6,19%
Сера	10,19%

Парагенезис. Шмитт (1939) составил парагенетическую диаграмму для руд рудника Пьюабик; в несколько упрощенном виде приводим ее ниже (см. фиг. 30*б*).

Как отмечено, кварц отлагался на протяжении всего периода минерализации, а спекулярит отлагался вплоть до завершения

галенито-халькопиритовой стадии. Магнетит является связующим звеном между силикатной и сульфидной стадиями. Следует отметить совместное отложение окисного и закисного железа — другими словами, одновременное существование окислительной и восстановительной среды; это сочетание вызывает целый ряд вопросов физико-химического порядка.

На руднике Гановер соотношения несколько отличны: ильваит, повидимому, здесь следует за салитом, а не развивается одно-



Фиг. 30*б*. Парагенетическая диаграмма руд месторождения Пьюабик. (По Шмитту, 1939 г.)

временно с ним; спекулярит появлялся спорадически на протяжении длительного периода, а не отлагался непрерывно; пирит, повидимому, появился до сфалерита, но позже самого раннего галенита.

Месторождения замещения в известняке

Общая характеристика. Между Гановером и Санта Рита имеются метасоматические месторождения цинковых руд в известняках вдоль трещин меридионального направления, обычно выполненных дайками гранодиорит-порфиров и кварцевых монцонит-порфиров. Они сопровождаются силикатной жильной породой, хотя сами и не находятся в пределах контактово-метаморфических ореолов. Сходные месторождения имеются на участке Баярд в известняковых формациях под силлями, содержащими жильные месторождения. Другие месторождения замещения вдоль трещин наблюдаются близ Джоржтауна, в северо-восточной части района.

Рудные тела залегают в формации Магдалена и в известняках Лэйк Валли, главным образом в криноидном известняке, составляющем верхние 30—45 *м* формации Лэйк Валли. За исключением месторождений близ Джоржтауна, они обычно залегают вдоль даек, инъицированных в существовавшие ранее трещины или зоны трещиноватости; их распределение, размеры и форма в структурном отношении контролируются напластованием либо трещинами вдоль и вблизи зальбандов даек или, наконец, остатками додайковых трещин. В деталях форма рудных тел неправильна, но обычно они представляют собой вертикальные плитообразные тела, вытянутые вдоль дайки или трещины; вертикальное протяжение этих тел больше, нежели их мощность. Наиболее крупные из рудных тел этой группы имеют более 300 *м* в длину, от 25 до 30 *м* в высоту и от 5 до 10 *м* в ширину. Некоторые из них замещают горизонт криноидного известняка по всей его мощности. Местные пластообразные участки, параллельные напластованию, достигают 30 *м* в ширину, от 4 до 6 *м* мощности и 60 *м* в длину. Некоторые рудные тела имеют форму лент с линзовидным поперечным сечением; эти тела имеют мощность до 5 *м*. В горизонтальном направлении их протяжение значительно. Обычно наблюдается сочетание разных форм в одном и том же рудном теле. В участках сближенного расположения нескольких даек руда может непрерывно располагаться между ними.

Силикатная жильная порода состоит из массивного, обычно крупнозернистого геденбергита, сопровождаемого второстепенным гранатом, ильваитом, родонитом, эпидотом и марганцовистым кальцитом. На некоторых участках силикатные массы или зоны, как правило, залегают между дайкой или рудой, причем руда граничит с метасоматической силикатной породой, с одной стороны, и неизменным известняком — с другой; в других местах руда обычно залегает между дайкой и метасоматической силикатной породой, причем силикаты залегают в непосредственной близости от известняка. Контакты между рудой и известняком и особенно между силикатной породой и известняком так резки, словно они обрезаны ножом.

Если в известняках имеет место относительно простое силикатное изменение, то в дайках процессы изменения являются гораздо более сложными. Обычно краевые зоны даек (части, ближе всего расположенные к руде или к силикатизированным породам) замещены массивным эпидотом, который содержит вкрапленность пирита и кальцита. Ширина зоны эпидота колеблется в пределах от нескольких сантиметров до 10 *м*. Некоторые из наиболее маломощных даек полностью эпидотизированы. Местами дайки преобразовались в осветленную породу, состоящую из серицита, глинистых минералов и доломита (?), или же в черную хлорито-

вую породу, содержащую гнезда эпидота и клиноцоизита, замещающих первичные полевые шпаты. Серицитово-глинисто-доломитовое изменение является самым ранним из трех указанных типов, эпидотовое же изменение — самым поздним; промежуточную стадию представляет хлоритовый тип.

Рудный материал замещает как силикатную породу, так и неизмененный известняк, а в участках, где оруденение протекает более интенсивно, он замещает также эпидотизированные сланцы и эпидотизированные дайковые породы. Обычно рудные тела слагаются высокопроцентными марматитовыми рудами, не содержащими свинца, но местами же присутствуют (и иногда в заметных количествах) галенит, халькопирит, пирит, магнетит и спекулярит, причем эти минералы встречаются порознь или совместно. В некоторых месторождениях следует отметить наличие крупных залежей сыпучего пирита, особенно там, где замещаемой породой были сланцы. В некоторых месторождениях пустоты растворения и наиболее мелкие друзовые карманы выстланы водяно-прозрачными игольчатыми кристаллами кварца, кристаллами галенита, сфалерита, пирита, халькопирита и скаленоэдрическими кристаллами кальцита. При этом кое-где на кристаллах наблюдается «присыпка» хлоритовых и глинистых (?) минералов. Эти полости частично находятся внутри массивной сфалеритовой руды и характеризуются угловатыми очертаниями, указывающими на выщелачивание некоторого количества материала; повидимому, выщелачиванию подвергся пластинчатый кальцит, отложенный ранее в течение главной сфалеритовой стадии; таким образом гидротермальное выщелачивание нарушало непрерывность процесса отложения рудного материала.

Добываемая руда содержит около 14% цинка, 1—2% меди, 0,1—0,2% свинца и от 0 до 35 *г/т* серебра.

Парагенезис. Судя по тому, что нам сейчас известно, порядок отложения на различных участках варьирует, но это может объясняться и тем, что имеющиеся у нас данные еще недостаточно полны. Парагенезис участка Баярд представляется нам в следующем виде: геденбергит и (?) ильваит; родонит и гранат; магнетит и спекулярит; обильный пирит, сопутствуемый хлоритом; обильный сфалерит, сопутствуемый пиритом; галенит; возможно, халькопирит и пластинчатый кальцит (?); гидротермальное выщелачивание; кварц; пирит, халькопирит и кварц; очень немного сфалерита; кварц; скаленоэдрический кальцит; хлорит и глинистые (?) минералы.

Впредь до детального изучения магнетиту и спекуляриту отводится положение, частично определяемое на основании общего принципа, согласно которому окисное отложение обычно предшествует закисному.

Парагенезис участка Гановер представляется в следующем виде: гранат, геденбергит; ильваит, за которым, повидимому, следуют магнетит и спекулярит; родонит и, наконец, сульфиды.

Одной из особенно характерных черт некоторых месторождений является присутствие в них кубиков пирита, цементируемых более поздним массивным сфалеритом и местами халькопиритом, который преимущественно замещал хлоритовый материал, первоначально содержавший пирит.

Жильные месторождения цинка, свинца и меди

Общая характеристика. Месторождения этого типа ограничиваются частью района, известной под названием участка Баярд; последний расположен к юго-западу от Санта Рита в области, где широко распространены сбросы и наблюдаются обширные выходы кварцево-диоритовых силлей среди сланцев формации Колорадо. Добыча производится в основном в двух рудниках: руднике Граунд Хог, расположенном вдоль сбросовой зоны Граунд Хог, и руднике Булл Фрог, расположенном вдоль сбросовой зоны Аул-Хобо.

Жилы следуют вдоль контактов гранодиоритовых и кварцево-монцонитовых даек, которые были инъицированы вдоль сбросов и сбросовых зон, уже минерализованных к моменту их внедрения. Додайковый жильный материал состоит исключительно из кварца и пирита, редко с небольшой примесью золота; породы интенсивно изменены на расстоянии 50—100 *м* в сторону от самой жилы. В таких участках боковые породы сильно осветлены и пиритизированы; они пересекаются сетью кварцевых и кварцево-пиритовых прожилков; исходные составные части породы замещены кварцем, серицитом и глинистыми минералами. Эти додайковые зоны изменений являются продолжением широко распространенного изменения, охватывающего несколько кубических километров породы и сопровождающего месторождения вкрапленных медных руд в Санта Рита; они тянутся вдоль сбросов, образуя «апофизы» главной области изменения и уменьшаются в мощности и интенсивности минерализации по мере удаления от Санта Рита.

Последайковые месторождения залегают главным образом вдоль участков повторного приоткрывания сбросовых зон. Они образуют линзообразные гнезда длиной до 300 *м*, глубиной по падению до 12 *м* и мощностью до 7 *м* и слагаются массивными сульфидными серебросодержащими рудами. Рудные минералы (в порядке распространения) представлены сфалеритом (местами марматитом, но чаще светложелтой, бедной железом разновидностью), халькопиритом, галенитом и пиритом; жильными в общем подчиненными минералами являются кварц и кальцит. Руды варьируют от тонкозернистых тесных прорастаний до

крупнозернистых почти мономинеральных масс. Местами руда имеет полосчатое сложение и состоит из полос галенита, смешанных сульфидов и тонких пиритовых просечек, параллельных зальбандам жилы; некоторые из полос галенита настолько чисты и значительны по мощности, что получаемую из них чистую руду можно отгружать и отправлять непосредственно на плавильные заводы. Характерно, что халькопирит ассоциирует преимущественно со сфалеритом, а не с пиритом или галенитом. В среднем, добываемая руда содержит около 14% цинка, 10% свинца, 5% меди и около 280 *г/т* серебра.

Жильные минералы составляют лишь незначительную часть рудных столбов, но в других местах жил они являются преобладающими. В отдельных частях жил заполнение состоит большей частью из кварца и пирита; в других же частях жильная зона представлена силифицированной и пиритизированной боковой породой. Переход от одного вида заполнения в другой местами постепенный, местами же резкий. Брекчированные обломки пород самого разнообразного размера преобладают во всех видах жильных заполнений, причем наблюдаются все переходы от материала, содержащего обломки вмещающих пород, погруженные в цемент из жильного материала, до сильно раздробленной породы, пересеченной разветвляющимися прожилками. Массивные рудные тела обычно в конце разветвляются на многочисленные прожилки, секущие породу на протяжении многих метров; местами же оруденение резко прекращается. Призальбандовые зоны брекчирования и минерализации весьма обычны, они варьируют от тонких прожилков до полос в несколько десятков сантиметров мощностью, но в участках, где боковая порода была преобразована в пиритовый джаспероид, руды переходят в джаспероидную массу, не имеющую четких ограничений.

Рудная минерализация сопровождается главным образом хлоритизацией боковых пород, хотя в некоторых местах наблюдаются и узкие полосы осветленных пород мощностью не больше чем в несколько десятков сантиметров, сходных с кварцево-пиритово-серицитово-глинистыми зонами изменения додайковой стадии.

Супергенные руды, образованные из этих месторождений, состоят главным образом из довольно чистой церруситовой и подчиненной халькозиновой руды. Несколько тонн материала, содержащего эндлихит и купродеклуазит, было добыто для извлечения ванадия.

Парагенезис. Ласки (1936) приводит следующий порядок отложения: кварц, пирит и подчиненный халькопирит; сфалерит и подчиненный кварц; галенит, халькопирит и подчиненный кварц; кварц, пирит и кальцит.

Запасы

Шмитт[1] в 1944 г. оценивал потенциальные запасы цинка в современной продуктивной части Центрального района в 18 000 000 *т* руды, содержащей 10% цинка, или около 1 500 000 *т* металла. Это составляет приблизительно утроенную величину общей добычи за все прошедшее время.

Можно надеяться, что геологические исследования, предпринимаемые в настоящее время Геологическим комитетом США (одной из целей которых является дать основу для определения рудных возможностей области), выявят количественные показатели; в данный же момент авторы могут сказать только, что возможности района в этом отношении велики. Это мнение основано на следующих соображениях:

1) Развивающиеся исследования уже известных структур и продуктивных районов продолжают сопровождаться открытиями значительных количеств руды.

2) Нижнепалеозойские формации, залегающие под известняком формации Миссисипи, пока еще основательно не разведаны.

3) В окрестностях Баярда и Санта Рита рудные выработки показали, что продуктивные площади распространяются под перекрывающими третичными вулканическими породами. Так, например, руда близ рудника Лаки Билл полностью находится под покровом. Можно с уверенностью сказать, что под перекрывающими молодыми породами будут открыты другие продуктивные участки.

4) По меньшей мере семь отдельных штоков обнажаются в этой области на пространстве около 640 *км*^{2} (фиг. 28): у Гановера, Санта Рита, Коппер Флэт, Лон Маунтин, Пинос Альтос, Силвер Сити и Тирон. Три этих интрузивных центра — Гановер, Санта Рита и Тирон — являются продуктивными, остальные менее интересны в отношении оруденения. Однако представляется вероятным, что в районе имеются еще не вскрытые интрузивные центры, погребенные под третичными вулканическими породами и долинными отложениями, окаймляющими описываемую область со всех сторон. В настоящее время начинают поступать данные, говорящие в пользу правильности этого предположения.

ЛИТЕРАТУРА

Paige S., *U. S. Geol. Survey Geol. Atlas,* Silver City Folio (No 119), 1916.

Lasky S. G., Geology and ore deposits of the Ground Hog Mine, Central district, Grant County, N. Mex. *New Mexico Bureau Mines and Mineral Resources Circ.*, **2**, 1930.

Schmitt H., The Central mining district, N. Mex. *Am. Inst. Min. Met. Eng. Contr.*, **39**, 1933.

[1] Schmitt, Harrison, Силвер Сити, Нью-Мексико, Дэйли Пресс, 15 мая 1944.

Lasky S. G., Distribution of silver in base-metal ores at the Ground Hog Mine. *Am. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub.*, 557, 1934.
Spencer A. C. and Paige S., Geology of the Santa Rita mining area, N. Mex. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 859, 1935.
Lasky S. G., Geology and ore deposits of the Bayard area. Central mining destrict, N. Mex. *U. S. Geol. Survey, Bull.* 870, 1936.
Schmitt H., The Pewabic Mine. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 50, 777, 1939.
Lasky S. G., Ground Hog Mine, Central district, N. Mex. In *Ore deposits as related to structural features*, 244, Princeton, 1942.
Schmitt H., Certain ore deposits in the South — west: Central Mining district, N. Mex... In *Ore deposits as related to structural features*, 73, Princeton, 1942.

Е. ЮНГ[1]

ОКРУГ ПИОЧЕ

Краткое содержание

Основная продукция свинцово-цинковых руд в районе Пиоче получается из сульфидных метасоматических месторождений в известняках «*CM*» самого нижнего известнякового горизонта сланцевой формации Пиоче, кембрийского возраста. Они залегают в каналах, локализованных в зонах трещиноватости; один из таких каналов прослежен на расстоянии почти 3000 *м*, причем месторождения, залегающие вдоль него, достигают мощности 12 *м* и ширины 75 *м*. Другие типы месторождений представлены жилами в кварцитах, протягивавшимися до глубины 350 *м* и вначале дававшими большие количества серебра в зоне окисления, а также метасоматическими жилами в известняках и трещинными жилами в гранитпорфировой дайке Юба. В районе наблюдаются как нормальные сбросы, так и надвиги, расщепляющиеся на многочисленные сбросовые блоки, опрокинутые под различными углами. Многие сбросы образовались позднее, чем позднемезозойские или раннетретичные лавы этого района, но образование большинства из них предшествовало оруденению.

История округа и добыча

Хотя округ Пиоче, расположенный в области Линкольн в юго-восточной части Невады, не относится к числу главнейших мировых рудных районов, он все же заслуживает описания в настоящем сборнике, посвященном месторождениям свинцово-цинковых руд. Для этого имеются следующие основания. Во-первых, согласно данным, собранным различными государственными учреждениями, продукция этого округа почти за 80 лет эксплоатации превысила 5 000 000 *т* при общей чистой стоимости металла приблизительно в 100 млн. долларов; точные данные тут не могут быть указаны ввиду отсутствия сведений, относящихся к более раннему периоду эксплоатации. Во-вторых, это один из выдающихся примеров успешной разработки цинково-свинцовых рудных тел при помощи комплексного использования данных теоретической геологии, геологического картирования, а также данных ударного и алмазного бурения.

Площадь, охватываемая округом, показана на прилагаемой карте, составленной частично по данным Геологического комитета США, Prof. Paper, 171.

Добыча. С 1869 по 1946 г. включительно добыча в округе Линкольн составила приблизительно 14 664 *кг* золота и 1 219 050 *кг*

[1] E. B. Young, главный геолог компании Combined Metals Reduction.

серебра, 11 500 *т* меди, 176 000 *т* свинца, а после 1942 г. около 190 000 *т* цинка, причем две трети были получены из района Пиоче. С 1912 по 1946 г. из рудников Принц Вирджиния Лиз было отгружено около 1 100 000 *т* марганцовых окисленных руд приблизительно следующего состава: золота 0,37 *г/т*, серебра 78 *г/т*, свинца 3%, цинка 4%, железа 31% и марганца 12,3%.

Компания Combined Metals Reduction отгрузила с 1923 по 1947 г. включительно 1 450 000 *т* со средним содержанием золота 1,15 *г/т*, серебра 156,7 *г/т*, свинца 5,385% и цинка 13,71%.

Медь в большом количестве была добыта в руднике Бристоль Силвер, в северной части района. Значительная часть золота была добыта в округе Деламар, описание которого выходит за рамки нашей статьи.

История. Район Пиоче получил свое название по фамилии Ф. Пиоче (F. L. A. Pioche), заинтересовавшегося этим районом в 1868 г. История района представляет собой обычную яркую картину, характерную для возникновения западных бонанцевых разработок. В 1869 г. в район Пиоче пришли В. Х. Реймонс и Джон Эли и развили тут энергичную деятельность. Богатые выходы трещинных жил в кварцитах за 6 лет эксплоатации дали продукцию более чем на 17 млн. долларов. Бóльшая часть руд, добытых в первое время, представляла собой в значительной своей части хлористое серебро с примесью карбоната свинца и небольшого количества галенита в кварцевой жильной породе. По имеющимся сведениям, обработка этих руд на местных обогатительных фабриках давала от 70 до 85% руды. Отходы подверглись обработке в последующие годы. Компания Meadow Valley Mining добыла с 1869 г. по 31 июля 1874 г. 93 690 *т* руды, составившей металла на 52,94 доллара на тонну, или всего приблизительно на сумму 5 млн. долларов.

Уровень воды, стоявший приблизительно на горизонте 350 *м*, и падение цены на металл снижали добычу, и в 1886 г. было отмечено снижение добычи до 7 *т*. Подрядные и старательские горные разработки продолжались в течение многих лет. Около 1905 г. в этом округе Д. Джаннем было создано объединение из многочисленных старых рудников; в настоящее время это объединение получает 200—300 *т* цинковой сульфидной руды в сутки из рудника Эли Валли. За период с 1914 по 1918 г. включительно Принс Майн дал более 565 000 *т* марганцовых окисных руд.

В 1937 г. округ стал получать электроэнергию напряжением 69 000 вольт с силовой станции плотины Гувера, расположенной на расстоянии около 250 *км*. Около 110 *км* распределительных линий снабжают электроэнергией всю площадь округа. В 1941 г. компания Combined Metals Reduction закончила постройку фабрики с суточной производительностью 600 *т*, перерабатывающей

руду частных лиц по методу селективной флотации комплексных сульфидных руд. Недавно эта фабрика была расширена и ее суточная пропускная способность была доведена до 1200 *т* в связи с увеличившейся добычей в этом округе. На протяжении этих лет эксплоатация месторождений продолжала расширяться и добыча возрастала.

Характеристика рельефа

В настоящей статье описывается не только район Пиоче, но и прилегающие к нему с запада меридиональные горные гряды Бристоль и Хайленд, сходные с районом Пиоче в геологическом отношении, заключающие месторождения такого же типа и объединенные общностью владения и управления. Общая площадь рудного района в меридиональном направлении имеет протяжение около 35 *км*.

Меридиональные горные цепи Бристоль и Хайленд тянутся вдоль западной половины территории; они имеют довольно крутые склоны, причем западные склоны обычно более круты, чем восточные. Нередко здесь наблюдаются значительные меридиональные нормальные сбросы; осадочные породы падают на восток под сравнительно небольшим углом. В противоположность этому Пиоче Хиллс представляет собой массив удлиненной формы, тянущийся в направлении приблизительно СЗ 340° от г. Панака; в дальнейшем он постепенно отклоняется и приобретает направление СЗ 300°. Общая длина массива Пиоче составляет около 20 *км* при ширине от нескольких сотен метров до 5 *км*.

Направление этого поднятия контролируется крупной системой сбросов северо-западного направления; эта же серия сбросов в значительной степени определяет необычную концентрацию рудных месторождений в Пиоче Хиллс.

Эти три горные цепи с высотами, достигающими 2250—2700 *м*, окружены равнинами, отлого спускающимися с гор и лежащими на высоте 1430—1824 *м* над уровнем моря. Продолжение системы сбросов Пиоче Хиллс пересекает горные цепи Бристоль — Хайленд на площади, известной под названием Стампеде Гэп (высота 2200 *м*), расположенной на границе между двумя меридиональными грядами.

Город Пиоче, расположенный у подножья северо-восточного склона Пиоче Хиллс, является центром области Линкольн; он лежит у ветки № 93 железной дороги Юнион Пасифик.

Геологические исследования

Попытка систематического изучения и картирования описываемой территории впервые была сделана Л. Вестгэйтом и А. Кнопфом (Геологический комитет США), работы проводились

в летние периоды 1922, 1923, 1924 и 1926 гг. Результаты этих работ были опубликованы в 1932 г. в виде *Prof. Paper* 171, «Geology and Ore Deposits of the Pioche District, Nevada». Приблизительно с 1925 г. Е. Снайдер (E. H. Snyder) после почти 15-летних личных наблюдений стал привлекать инженеров и геологов к детальному изучению и картированию сложных сбросов и к определению структуры рудных площадей. Эта работа проводится под его руководством в настоящее время.

С 1936 по 1942 г. Г. Уилер (H. E. Wheeler) и ассистенты и студенты Горной школы Мэкей, Рено, Невада проводили детальные исследования различных частей территории; ими опубликовано несколько сообщений, содержащих много новых деталей в отношении кембрийского разреза и корреляции этого разреза с осадочными породами более широкой области.

На основании этих разнообразных исследований можно высказать следующее общее предположение о имевшей здесь место последовательности геологических событий.

1) Седиментация в течение большей части палеозойской эры от кембрийского до пенсильванского периода (нас интересуют главным образом осадочные породы кембрийского периода).

2) Поднятия, легкое смятие и эрозия.

3) Вулканизм, возможно, позднемезозойского или раннетретичного времени — образование лав и туфов.

4) Складчатость, образование ранних нормальных сбросов.

5) Образование надвигов.

6) Кварцево-монцонитовая интрузия Блайнд Маунтин и дайки в Пиоче Хиллс, в Бристоле, Стампеде Гэп и Комет.

7) Нормальные сбросы нескольких различных периодов.

8) Минерализация.

9) Поздние нормальные сбросы.

10) Эрозия сброшенных блоков, обусловившая образование современного рельефа.

Стратиграфия

Геологический разрез. Эта территория чрезвычайно благоприятна для изучения кембрийских осадочных пород. Обширные склоны почти лишены растительного покрова и доступны для исследования. Кембрийское море распространялось от Скалистых гор до Сьерра Невада в Калифорнии, причем самая низкая точка геосинклинали находилась недалеко к западу от Пиоче. В нашем описании территории Пиоче мы ограничимся вопросами, связанными с поисками руд.

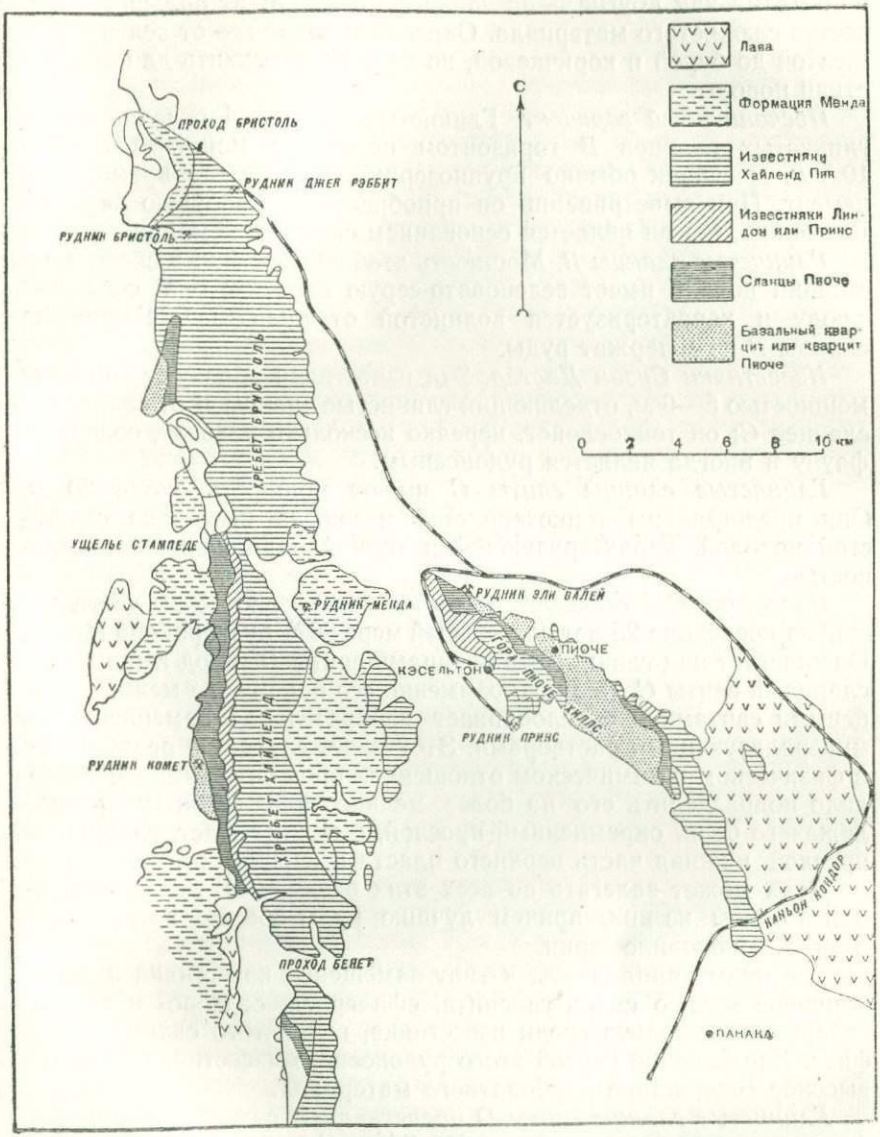
Базальные кварциты Пиоче. На описываемой площади вскрыта толща кварцитов мощностью около 600 *м*; между тем

известно, что в области, расположенной к юго-западу около границы штатов Невада — Калифорния, мощность этой толщи возрастает до 2700 *м*. На поверхности кварциты слагают в основном южную центральную часть Пиоче Хиллс и тянутся вдоль западных предгорий горных цепей Хайленд и Бристоль. Цвет кварцитов меняется от белого, через бурый, до красного; замечено, что под влиянием процесса выветривания породы темнеют. Уже при помощи простой лупы часто можно различить отдельные зерна песка; при разбивании порода колется через зерна; цемент породы кремнистый. Различие в размерах зерен позволяет обнаруживать полосчатость и местами косую слоистость; часто различима правильная слоистость. Часть кварцитов является слюдистыми кварцитами; местами же имеются прослойки слюдистых сланцев, подчеркивающие слоистость толщи. Переслаивание сланцев и кварцитов особенно характерно для верхней части формации, где наблюдается переход к глинистым сланцам Пиоче. Бонанцевые руды первых дней эксплоатации добывались из почти вертикальных трещин в этих кварцитах.

Формация глинистых сланцев Пиоче. Формация «глинистых сланцев Пиоче» обнимает толщу мощностью около 300 *м* на территории Пиоче; мощность этой толщи, однако, уменьшается во всех направлениях от центра. Эта формация представлена в большей своей части глинистыми сланцами, нередко слюдистыми, обладающими различными физическими свойствами, переслаивающимися с известняками и содержащими один прослой песчаника. Найденные здесь ископаемые позволяют отнести эту формацию к нижнему или среднему кембрию. С экономической точки зрения, за последние 25 лет эта формация глинистых сланцев с прослоями известняков являлась наиболее важной на этой территории, а потому мы остановимся на ней несколько более подробно.

Глинистые сланцы Пиоче имеют местные обозначения *A*, *B*, *C* и *D*, причем этими буквами обозначаются отдельные свиты разреза в направлении сверху вниз. Ввиду экономической важности толщи производилось в больших размерах как ударное, так и алмазное бурение, причем нерастворимые остатки изучались под микроскопом. Для лучшего ознакомления с данной формацией было составлено бесчисленное количество геологических разрезов.

Глинистые сланцы свиты A. Мощность этой свиты около 100 *м*. Верхняя часть часто известковая, нередко содержит несколько пластов известняка мощностью от 1,5 до 7,5 *м*. Известняки встречаются в виде линз в глинистых сланцах, в результате чего точная корреляция их затруднительна или невозможна. Эти известняки часто содержат промышленные месторождения свинца, цинка и серебра. Некоторые горизонты сланцев *A* аргиллитовые,



Ф и г. 31. Геологическая карта округа Пиоче.

в то время как другие — песчанистые и содержат большое количество слюдистого материала. Окраска меняется — от зеленовато-желтой до бурой и коричневой, но не может служить для диагностики породы.

Песчаниковый горизонт. Глинистые сланцы *A* отделяются от глинистых сланцев *B* горизонтом песчаника мощностью 7,5—10,5 *м*. Песчаник обычно крупнозернистый и имеет кремнистый цемент. При выветривании он приобретает темнобурую окраску. Возможно, что он является основанием среднего кембрия.

Глинистые сланцы B. Мощность этой свиты 37 *м*; в свежем состоянии порода имеет зеленовато-серую окраску; она содержит слюду и характеризуется волнистой отдельностью. Глинистые сланцы *B* не содержат руды.

Известняки Сузан Дастер. Эти известняки образуют горизонт мощностью 5—6 *м*, отделяющий глинистые сланцы *B* от глинистых сланцев *C*; он тонкослоист, нередко несколько узловат, содержит фауну и иногда является рудоносным.

Глинистые сланцы свиты C имеют мощность около 30 *м*. Они представлены тонкозернистой и иногда несколько слюдистой породой, характеризующейся тонкой параллельной отдельностью.

Известняк CM образует горизонт мощностью 15 *м*, доставивший за последние 25 лет по меньшей мере 90% руды района Пиоче. Он залегает над глинистыми сланцами свиты *D* и под глинистыми сланцами свиты *C*. Возможно, именно его положение между сланцевыми свитами и обусловливает избирательное замещение его минерализующими растворами. Этот пласт слагается различными в физическом и химическом отношениях пропластками; это позволило подразделить его на более мелкие подгоризонты: прослой лежачего бока, окремненный прослой, нижний пласт, слюдистый прослой, нижняя часть верхнего пласта и верхний пласт.

Руда может залегать во всех этих различных подгоризонтах или в одном из них, причем лучшие руды обычно встречаются в нижней половине серии.

Все руды принадлежат к типу замещения известняка и представляют тесную смесь галенита, сфалерита, серебро- и золотосодержащего пирита среди известняка, глинистого сланца и графита. Характерной чертой этого рудоносного известняка является высокое содержание карбонатного материала.

Глинистые сланцы свиты D представляют самый нижний член формации мощностью около 60—75 *м*. Сланцы этой свиты местами слюдистые и в свежем состоянии имеют серо-зеленый цвет. Они иногда минерализованы вблизи трещин и содержат рассеянный пирит и в подчиненном количестве — вкрапленность сфалерита. Свита сланцев *D* залегает согласно на базальных кварцах и образует постепенные переходы к ним.

Известняки толщи Линдон или Принс. Известняки имеют мощность 100—120 *м* и залегают согласно на глинистых сланцах *А* толщи Пиоче. В верхней части формации имеется 7—10-метровый пласт местами рудоносного тонкослоистого известняка, от темносерого до черного цвета. Ниже этого пласта залегает пласт темносерой окраски мощностью около 40 *м*, который переходит в известняк, носящий местное название «Уайт Принс». Последний имеет мощность 20—25 *м*. Он варьирует от мелкозернистой до плотной разности, окраска его от светлосерой до белой, часто с розоватым оттенком. Ниже залегает 60-метровый слой известняка от темносерого до голубого цвета, носящий название «Блю Принс». В нижних 6—10 *м* этого горизонта наблюдается переслаивание известняков с глинистыми сланцами свиты *А*, вследствие чего определение границы известнякового горизонта представляется затруднительным. Нижние слои его могут быть рудоносными. Органических остатков, которые бы позволили определить возраст в толще Линдон, найдено не было. Самая богатая минерализация в этом горизонте наблюдается в рудном теле «Биг Бэд» рудника Принс, который за время первой мировой войны дал большое количество марганцовых окисных руд.

Глинистые сланцы свиты Чишолм. Эти сланцы имеют мощность от 25 до 45 *м*. Окраска их желтая, бурая или коричневая; при выветривании они дают плоские бурые или красноватые обломки, благодаря чему легко распознаются в обнажениях. Под микроскопом в них устанавливаются мельчайшие выделения слюды. Обильные ископаемые позволяют отнести эту свиту к среднему кембрию. В верхней части описываемой свиты, на расстоянии 6 *м* от кровли, залегает тонкий прослой известняка Хаф-Мун. Этот прослой вмещает пластовые серебряно-свинцовые золотосодержащие руды и эксплоатировался некогда во многих участках горной цепи.

Известняк Пизлей. Голубой известняк Пизлей, или Дэвидсон, является самым нижним в мощной серии известняков и доломитов, слагающих формацию Хайленд Пик. Ему присвоено это название, так как он находится в руднике Дэвидсон, а также в каньоне Пизлей. Мощность известняка колеблется в пределах от 30 до 45 *м*. Этот горизонт залегает согласно на глинистых сланцах Чишолм и представлен темносерыми грубослоистыми известняками, содержащими солиты и спикули неопределенных губок. Известняки пересечены просечками кальцита и заключают серебряно-марганцово-свинцово-цинковые пластовые рудные тела замещения рудника Дэвидсон.

Известняки свиты Берроуз или доломиты свиты Дэвидсон. Эти известняки, бо́льшая часть которых обнаруживает широко распространенную перекристаллизацию и доломитизацию, имеют мощность от 70 до 120 *м*. Верхняя часть свиты мощностью

60—75 *м* обычно представлена крупнозернистым грубо слоистым доломитом от белого до темносерого цвета. Нижние 15—20 *м* сложены местами пятнистым доломитом с серыми и темноголубыми пятнами (зебровый доломит), обнаруживающим явные признаки вторичных изменений. Первоначально это был слоистый «светлосерый известняк от мелкозернистого до плотного», подобный тому, что в некоторых местах еще встречается и в настоящее время.

Свита Берроуз, относящаяся к среднему кембрию, отделена от подстилающих и перекрывающих ее известняков несогласиями. Она не содержит руды.

Черные известняки свиты Дэвидсон, известные также под названием «Тип *С*», залегают несогласно на известняках свиты Берроуз. Они почти черного цвета, тонкослоисты; в нижней части свиты имеются прослойки от розового до железисто-красного оттенков. Мощность свиты достигает приблизительно 60 *м*. На горизонте 1700 рудника Бристоль эта свита вмещала руду.

Формация Хайленд Пик. Между верхней частью глинистых сланцев Чишолм и верхами среднего кембрия имеется толща измененных известняков и доломитов общей мощностью 1200 *м* и подразделяющаяся по данным бурения на 17 литологических горизонтов. Горизонты эти фактически не содержат определимых ископаемых и обозначены буквами от *А* до *Q*, начиная от почвы или самых древних пластов; известняк Пизлей представляет собой тип *А*. В Пиоче Хиллс выше горизонта *А* руды найдено не было. В Бристоле руда встречается чаще; основная масса руды добывается здесь в горизонте *U* (Бристоль Лайн), представляющем темносерый среднезернистый известняк мощностью около 130 *м*.

Формация Менда. Настоящее описание было бы неполным, если бы мы не упомянули о формации Менда, находящейся в основном на территории Аризона Пик, на расстоянии около 10 *км* к западу от Пиоче. По неполным данным бурения, здесь имеется толща мощностью около 650 *м*, сложенная известняками и доломитами, с одним прослоем глинистых сланцев. Эта толща отнесена к верхнему кембрию. Вследствие широко распространенных нарушений как взбросов, так и нормальных сбросов, полный геологический разрез не установлен; не выяснено также соотношение с вышележащими ордовичскими формациями. В некоторых пластах известняка здесь в небольшом масштабе разрабатывались рудные тела замещения, примыкающие к минерализующим трещинам.

Изверженные породы. В описываемой части Невады развиты мощные покровы лав и туфов, занимающие большие пространства. В качестве рудовместилища полиметаллических руд они не имеют столь большого значения, как осадочные породы, слагающие горные цепи. Интрузивные породы, хотя распространение их и огра-

ниченное, имеют важное значение как индикаторы руд. В большом количестве встречаются дайки и силли кварцевых монцонитов, монцонитовых и диоритовых порфиритов. Самой известной является дайка Юба, находящаяся в Пиоче Хиллс. Ввиду того что она ассоциирована с одним из главных рудных каналов района, она была прослежена и нанесена на карту с большой тщательностью. Основное ее направление — широтное, с отклонением до 290°. Эта дайка имеет крутое падение, мощность колеблется в пределах от 3 до 30 *м*.

В Бристоле встречается ряд диоритовых даек, идущих в широтном направлении и падающих под углом 70° к югу; они, повидимому, составляют часть одной большой системы, параллельной широтной зоне минерализации этого рудного участка. Предполагают, что широтная диоритовая дайка в новом руднике Айдомик, в северной части района Бристоль, оказала большое влияние на рудоотложение. Следует отметить, что порфиритовые дайки не содержат руды, за исключением одного рудника в кварцитах Пиоче Хиллс, где более поздней минерализацией были выполнены трещины в дайке Юба. Повидимому, интрузии этих даек тесно связаны с привносом рудных эманаций и растворов.

Структура

Наряду с интенсивным изучением стратиграфического разреза проводились столь же важные исследования, касающиеся вопросов структуры. Поскольку в осадочных породах повсеместно наблюдаются сбросы, вопрос о сбросах является центральным в проблеме структуры. В отношении образования сбросов можно привести следующие обобщающие положения:

1) Сбрасообразование происходило на протяжении длительного периода времени, причем возникали как нормальные сбросы, так и взбросы.

2) Вся сбросовая деятельность относится к послепенсильванскому времени.

3) Сбрасообразование было закончено до отложения плиоценовых осадочных туфов.

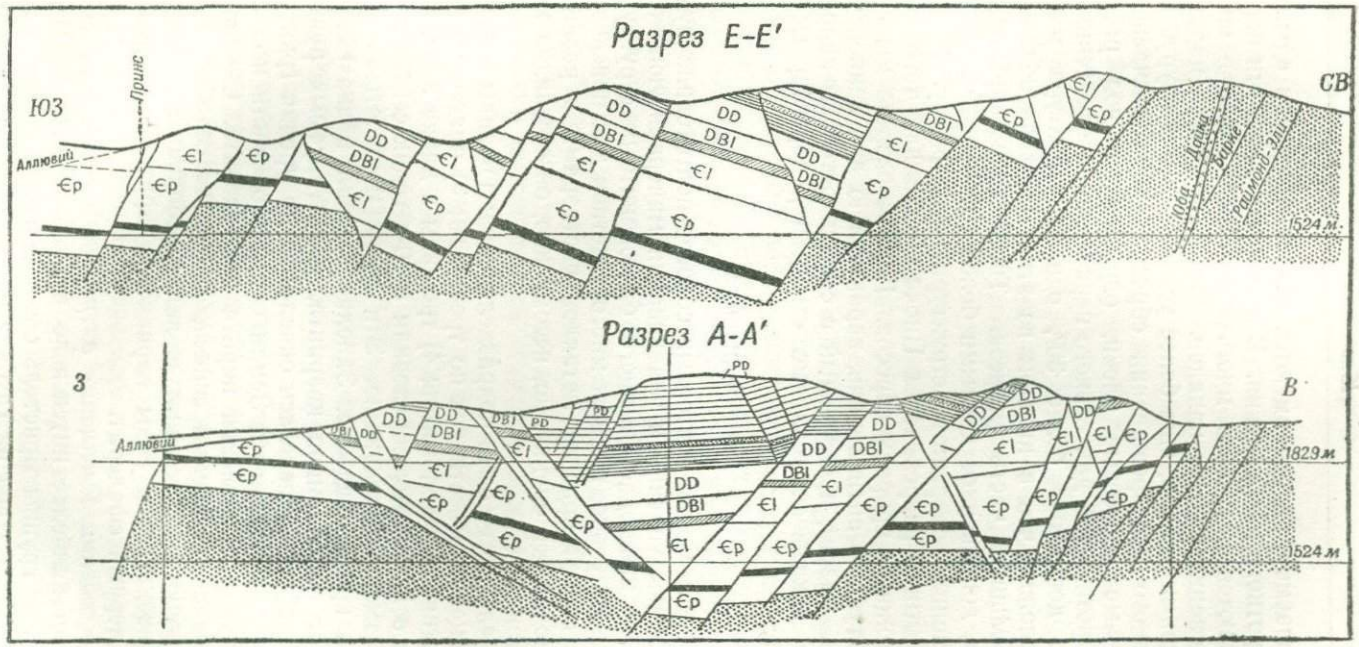
4) Сбрасообразование, вероятно, предшествовало и, несомненно, сопутствовало извержению лав. Извержения могли продолжаться от позднемезозойского до миоценового времени; в каньоне Кондор, расположенном в нескольких километрах к юго-востоку от Пиоче, потоки лав обладают мощностью более чем в 1800 *м*.

5) Бо́льшая часть сбросов является дорудной; некоторые сбросы — послерудные, и, наконец, возраст для некоторых сбросов пока еще не определен.

Самым ранним был процесс образования нормальных сбросов; он нам известен только по древним сбросам, исчезающим под надвигами. П. Джеммилл утверждает, что Мэй Дэй — большой сброс лежачего бока рудника Бристоль — старше надвигов, поскольку он не переместил выхода надвига.

Надвиги были нанесены на карту Вестгэйтом и Кнопфом во время исследований в северной и западной частях округа. В последние годы Уилером и Джеммиллом, а также другими исследователями было установлено, что надвиги имеют довольно широкое распространение. На территории Стампеде Гэп отмечены многочисленные ответвления надвигов, некоторые из которых ограничивают круто падающие или опрокинутые пласты; имеются доказательства того, что они возникли до даек кварцевых порфиров. Надвиги относятся к более позднему времени, чем бо́льшая часть лав, но они старше серии нормальных сбросов, которые в значительной степени создали очертания горных цепей и обусловили современный рельеф. Надвиги обычно падают под небольшим углом в восточном или в западном направлениях. Некоторыми геологами высказывалось предположение, что надвинутые блоки были перемещены с юго-запада. До и после надвигов имела место серия нормальных сбросов. На территории рудника Бристоль широтный сброс Мэй Дэй, падающий на юг, пересекает и смещает на несколько сот метров крупную «Железную жилу» (Iron Vein), приуроченную к падающей на восток меридиональной трещине. В свою очередь, сброс Мэй Дэй смещен сбросами № 1 и 10, идущими опять-таки в меридиональном направлении. Сброс № 10 является дорудным, сброс № 1, возможно, также дорудный. На территории Стампеде Гэп нормальные сбросы меридионального и северо-западного простирания смещают надвиги на сотни метров и еще больше усложняют структуру. Лобовой сброс, расположенный к западу от Казельтона, и сброс у рудника Лаки Стар, идущий в направлении 290—295°, пересекают и смещают главные надвиги.

В Пиоче Хиллс характер сбросов становится очень сложным. Главнейшие сбросы образуют крупную систему разломов, падающих на северо-запад и юго-запад, иногда со смещением более чем в 300 *м*; эти разломы определили очертания горной цепи. Они пересекают, но только незначительно смещают обширную систему сбросов северо-восточного направления (СВ 50°), падающих на юго-восток, которые, в свою очередь, характеризуются смещениями от нескольких десятков сантиметров до многих десятков метров. Некоторые из сбросов северо-восточного простирания контролировали оруденение. Геологическая карта поверхности отражает сложную систему сбросов и указывает на трудности, с которыми приходится встречаться при разрешении вопросов, связанных с поисками руды.



Фиг. 33. Вертикальные разрезы через Пиоче Хиллс. Верхний разрез — по линии $E-E'$, нижний разрез — по линии $A-A'$ фиг. 32.

В описываемом районе имеются сотни небольших сдвигов и сбросов широтного направления. В некоторых зонах эти нарушения оказываются настолько многочисленными, что они определяют образование рудных каналов. Местами сбросы, падающие под небольшими углами, еще более усложнили структуру. В результате такого перекрещивания сбросов район расчленен на многочисленные сбросовые блоки, опрокинутые под разными углами на протяжении длительного периода приспособления. Эти углы редко достигают более 30°, однако структура массива настолько сложна, что в каждом из этих массивов обнажается только небольшая часть разреза. Тщательное картирование поверхности, дополненное данными более 160 буровых скважин, все же позволило разрешить структурную проблему. Мы прилагаем широтный разрез через Пиоче Хиллс для того, чтобы показать сложную природу сбросов. В этом разрезе мы видим также структурную антиклиналь, характерную для данной части горной цепи. Разрез, проведенный в северо-восточном направлении, также показывает сильные смещения, характерные для Пиоче Хиллс.

Минерализация

Рудные тела. Серия повторных сбросов подготовила рудную площадь для поступления и улавливания минерализующих растворов. Здесь наблюдается много благоприятных структурных форм и, следовательно, имеется много участков для поисков руд. Возможный общий привнос металлов растворами в различные каналы не поддается оценке, но, несомненно, он составлял много миллионов тонн.

Рудные тела могут быть подразделены на: 1) жилы в кварцитах; 2) замещения известняков по трещинам; 3) пластовые замещения известняков и доломитов; 4) трещины в дайке Юба.

1. *Жилы в кварцитах* обусловили в 70-х годах сенсационную по своим размерам продукцию. Эти жилы мощностью до 3 *м* имеют очень крутое падение. Заполнение жил в значительной части состоит из обломков кварцита, цементируемых рудными минералами. Руда подверглась окислению до уровня грунтовых вод — 360 *м* от поверхности Земли — и в этой части несколько пориста вследствие удаления пирита и сфалерита. Окисленная руда содержала углекислый свинец, хлористое серебро, золото и другие продукты окисления и лишь небольшое количество галенита. Ниже уровня воды наравне с пиритом и галенитом встречается черный сфалерит.

2. *Месторождения замещения в трещинах среди известняков* разрабатывали наиболее интенсивно в рудниках Принс, Менда, Бристоль. Руды группы Бристоль были сильно окислены вплоть до уровня грунтовых вод на глубину более 520 *м*; они содержат

серебро, свинец, медь и цинк. В месторождениях этого типа установлено несколько стадий минерализации, приуроченных к трещинам различных направлений: железо-медная минерализация, характерная для широтных трещин; серебро-свинцовая минерализация в трещинах меридионального направления и свинцово-цинковая минерализация в трещинах северо-западного простирания. Повидимому, первичные руды были отложены восходящими растворами, но в период окисления произошла некоторая перегруппировка, хотя вмещающие известняковые породы в большинстве случаев задерживали миграцию. Жилы замещения и пластовые месторождения замещения нередко сливаются, так что могут разрабатываться в одних и тех же забоях.

«В Принс Майн трещинные жилы состоят из кварцевой жильной породы с первичными сульфидами свинца, цинка, серебра; они представляют собой более высокотемпературный тип минерализации, чем марганцово-железистые месторождения замещения. Местами эти жилы пересекают железо-марганцовые пласты, не вызывая видимого их изменения, и резко отличаются светлой окраской от пересекаемых в настоящее время окисленных, черных марганцовых руд. В других местах трещинные жилы вызвали в различной степени замещение железо-марганцовой руды кремнистым типом руд. В этих случаях бóльшая часть первоначально содержащегося железа остается, в то время как бóльшая часть марганца «замещается». (Отчет Джеммилла, 1941.)

3. *Пластовые замещения.* Неокисленные рудные тела представлены богатыми карбонатными серебросодержащими рудами с пиритом, галенитом и сфалеритом в столь тесном прорастании, что потребовалась большая работа для того, чтобы добиться их разделения при обогащении руд. Пионером в этом деле оказалась компания Combined Metals, освоившая метод дифференциальной флотации. Близ краевых частей рудных тел увеличивается содержание марганца, присутствующего обычно в форме манганосидерита. Весьма многочисленными являются месторождения окислов железа и марганца, содержащие небольшие количества серебра, свинца и цинка; по имеющимся подсчетам, они содержат несколько миллионов тонн руды. Марганцовыми минералами в них являются пиролюзит, браунит или вад; железо присутствует в виде гетита, лимонита или гематита. Серебро, свинец и цинк содержатся в варьирующих количествах, причем часто содержание их настолько велико, что значительно повышается ценность руды.

На руднике Принс крупные марганцовые месторождения замещения находятся в известняках Принс и Дэвидсон; они разрабатывались в больших масштабах в период первой мировой войны. После 1924 г. добыча на территории Пиоче производилась в основном из сульфидных месторождений замещения в извест-

няках *СМ*. Это был первый известняковый горизонт на пути восходящих растворов. Это расположение, наряду с фактом залегания известняка *СМ* между мощными пластами глинистого сланца, а также его узловатая тонкослоистая структура и содержание в нем графита обусловили преимущественное положение его в отношении оруденения. Пласт Сузан Дастер, залегающий приблизительно на 30 *м* выше пласта *СМ*, и несколько других пластов известняка в верхней части глинистых сланцев свиты *А* местами оказались также продуктивными.

Рудные тела замещения в известняке *СМ* встречаются в зонах трещиноватости. На руднике Принс такая зона простирается в направлении СЗ 335°; ширина ее равна от 30 до 90 *м*. На руднике № 1 компании Combined Metals зона идет в широтном направлении, отклоняясь до СЗ 290°, причем она контролируется трещинами широтного направления. В нескольких десятках метров к югу от зоны находится самая крупная на этой территории гранит-порфировая дайка. Параллельное направление зоны и дайки заставляет предполагать генетическую связь между ними. В этой зоне пласт *СМ* настолько замещен, что очистные работы могут распространяться на всю двенадцатиметровую мощность пласта при ширине вдоль напластования в 75—120 *м*. Зона в Пиоче Хиллс была прослежена на протяжении около 3000 *м* и по сегодняшний день дала продукцию, составляющую более 1,5 млн. *т* свинцово-цинковой сульфидной руды. Одной из ее особенностей является то, что, хотя пласт *СМ* обнаруживает многочисленные сбросы северо-западного и северо-восточного направления со смещениями в десятки метров, рудные блоки, по данным горных работ, протягиваются через горную цепь почти в широтном направлении.

4. *Трещинные жилы в гранит-порфировой дайке Айюба*[1]. Дайка содержит столбы или линзообразные залежи руды, распределенные в ней неравномерно; последние встречаются спорадически на обоих контактах и внутри дайки. Мощность дайки 12 *м*, простирание ее широтное и падение на юг под углом 80°. Дайка пересекает кварциты, падающие под углом 25° на север; она сильно серицитизирована и содержит тонкую вкрапленность пирита, который, очевидно, образовался во время серицитизации порфира. С генетической точки зрения представляется несомненным, что дайка Айюба после затвердевания была раздроблена и служила каналом, по которому поднимались горячие растворы. Эти растворы отложили в дайке галенит, сфалерит, пирит и серебросодержащий минерал и изменили все содержащиеся в ней полевые шпаты и биотит в белую шелковистую слюду (серицит).

[1] Л. Вестгэйт, А. Кнопф, 1932.

Запасы руд. Управление компании Combined Metals Redaction и связанных с нею компаний утвердило план эксплоатации рудных запасов, предусматривающий три стадии: первая стадия — поддерживание запасов руды на уровне, обеспечивающем эксплоатацию на протяжении 2—3 лет; вторая стадия — поиски и разведки, выполняемые при помощи геологического картирования и ударного бурения с последующими подготовительными горными процессами, как, например, проведение основных откаточных путей. Эта стадия работы должна подготовить руду по крайней мере еще на пять лет вперед. Задача работ на третьей стадии значительно шире, а именно: тщательное геологическое картирование поверхности, расширение территории разработок и закладка пробных скважин ударного бурения в целях выявления новых рудных каналов, которые должны обеспечить добычу руды на многие годы. В настоящее время эта система дала прекрасные результаты — можно быть вполне уверенным в том, что гарантирована возможность длительной и рентабельной эксплоатации района. Одна из стадий разведочных работ будет состоять в тщательных поисках трещинных руд в кварцитах, залегающих под продуктивными зонами; можно надеяться, что разработка этих руд даст эффект, близкий к сказочным цифрам добычи 70-х годов прошлого столетия.

ЛИТЕРАТУРА

Schenk E. T. and Wheeler H. E., Cambrian Sequence in western Grand Canyon, Arizona. *Jour. Geol.*, **50**, 1942.

Westgate L. G. and Knopf A., Geology and ore deposits of the Pioche district, Nevada. *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper* **171**, 1932.

Wheeler H. E. and Lemmon D. M., Cambrian formations of the Eureka and Pioche districts, Nevada. *Univ. Nevada Bull.*, **33**, 1939.

Wheeler H. E., Revisions in the Cambrian Stratigraphy of the Pioche district, Nevada. *Univ. Nevada Bull.*, **34**, 1940.

— Lower and Middle Cambrian Stratigraphy in the Great Basin area. *Univ Nevada Bull.*, **38**, 1944.

МЕКСИКА

ГОНСАЛЕС РЕЙНА[1]

ГЕОЛОГИЯ, ПАРАГЕНЕЗИС И ЗАПАСЫ СВИНЦОВЫХ И ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕКСИКИ[2]

Краткое содержание

Свинцово-цинковые месторождения имеются почти во всех штатах, входящих в состав Мексиканской республики. Морфологически они отличаются друг от друга, причем морфология их находится в зависимости от состава вмещающих пород. В северной части страны месторождения ассоциируют с осадочными породами (меловыми известняками) и генетически связаны с интрузиями диоритов, диабазов, аляскитов, кварцевых монцонитов и порфировых риолитов. Эти интрузии дали начало наиболее продуктивным месторождениям, имеющим форму рудных труб, плащеобразных залежей («манто»), которые выполняют крупные пустоты в известняках, образовавшиеся до внедрения интрузий. В некоторых случаях минерализация связана преимущественно с теми участками, где известняки доломитизированы. Указанные типы месторождений давали и дают ныне значительное количество руд, в которых содержание свинца колеблется в пределах от 1,2 до 70,5% и цинка от 2,34 до 45%.

В районе хребта Западная Сьерра Мадре, который протягивается параллельно Тихому океану в южной части страны, месторождения свинца и цинка связаны с андезитами и в некоторых случаях с риолитами. Морфологически эти месторождения представлены жилами, прожилками и послойными импрeньяциями. По своим перспективным возможностям они уступают месторождениям северной части Мексики, где запасы руды несравненно бóльшие. Содержание свинца в разрабатываемых рудах варьирует от 0,9 до 61% и цинка от 2 до 40%.

Бóльшая часть продукции свинца и цинка в прошлом поступала из зоны окисления этих месторождений, весьма богатой карбонатами. В настоящее время сульфидная зона, разрабатываемая в большинстве месторождений, даст значительные количества галенита и цинковой обманки. Почти всегда свинцовые и цинковые месторождения Мексики дают также серебро, которое ассоциируется с главными компонентами руд в самых разнообразных формах.

Запасы свинца и цинка, которыми Мексика могла бы располагать в будущем, неизвестны. Однако на основании опыта прежних лет, геологических данных об уже известных месторождениях и зонах, содержащих свинец и цинк, а также цифр добычи можно предположить, что запасы такого рода значительны.

Добыча свинца и цинка за последние годы (с 1922 до января 1948 г. включительно) составила соответственно 5 093 055 и 3 402 384 *т*.

Исторические данные

Из исторических сведений о горных разработках на американском континенте явствует, что европейцы впервые увидели свин-

---

[1] González Reyana, Геологический институт Мексики.

[2] Перевод с испанского проверен Я. М. Светом.

цовые руды в области, которая ныне составляет центральную часть Мексиканской республики. В этом районе Нового Света рудные залежи безусловно были указаны европейцам туземцами, которые знали о месторождениях свинца с незапамятных времен.

Повидимому, туземцы никогда не разрабатывали свинцовых месторождений, что бесспорно объясняется отсутствием у них необходимых сведений о выплавке этого металла; известно, что ими употреблялись инструменты и оружие различных видов, изготовленные из сплавов меди. Можно допустить, что даже, если бы им и удалось найти применение свинцу, этот металл не вытеснил бы иные виды металлов, поскольку из свинца нельзя изготавливать режущих инструментов, для которых используется медь и в которых туземцы испытывали необходимость. Разработка свинцовых месторождений в Мексике началась в весьма малом масштабе спустя немного времени после появления в этой стране испанцев и вызывалась потребностями завоевателей.

На начальном этапе разработки руд в пределах территории, позже получившей наименование Мексики, было установлено, что в далеко не редких случаях свинцовые и цинковые минералы встречаются совместно и что для того, чтобы обработать серебряную руду, необходимо обогащать ее, отделяя свинец (минералы свинца). Процесс подобного рода не представлял для испанцев больших трудностей, так как уже издревле они освоили операции плавки, необходимые при работах с рудами зоны окисления месторождений, по типу близких к мексиканским. Поэтому в различных частях Новой Испании были введены в эксплоатацию множество «галем» — плавильных печей старого типа. Хотя эти печи и имели малую производительность и емкость, но тем не менее с их помощью удавалось получать значительное количество серебра и свинца.

Сперва свинец использовался мало, так как спрос на этот металл не был значительным. С открытием в 1650 г.[1] больших свинцовых и серебряных месторождений в северной части страны разработка их шла с целью извлечения серебра. Количество серебра было весьма велико, ибо масса руды, подвергавшаяся переработке, извлекалась из зоны окисления этих месторождений.

Чтобы дать представление о грандиозном масштабе рудных разработок в эту эпоху, достаточно указать (и в других случаях факты эти будут отмечены особо), что, например, в Санта Эвлалии (штат Чигуагуа), несмотря на отсутствие механических средств при горнометаллургических процессах и невзирая на то,

[1] Ошибка; около 1550 г. были открыты месторождения Сан Луис Потоси и Сакатекас и во второй половине XVI века колоссальное количество серебра хлынуло из Новой Испании в Европу, вызвав революцию цен. (*Прим. перев.*)

что центральная часть рудного поля была труднодоступна, до 1783 г. всего лишь за 80 лет эксплоатации было получено серебра, согласно статистическим данным, на 112 000 000 песо[1]. Речь идет о стоимости серебра, содержащегося в первоначально разрабатываемых рудах, которые извлекались из зоны окисления месторождений. По мере того как в рудниках достигались более глубокие горизонты, горнякам приходилось сталкиваться с целой серией новых проблем, разрешать которые удавалось удовлетворительно, пока разработка шла на относительно небольшой глубине и затраты на извлечение руды были невелики; в частности, проблема борьбы с подземными водами не была тяжелой; главная же выгода заключалась в том, что руды из зоны окисления легко поддавались обогащению.

Но при дальнейшем углублении старых рудников и при уменьшении содержания серебра в свинцово-серебряных рудах встречены были комплексные сульфиды, которые хотя и содержали достаточно много серебра, но не всегда поддавались обогащению.

Кроме того, оказалось, что с глубиной значительно возрастало количество минерала, прозванного *estoraque* (эстораке) — обманка. Так как тогда не были известны методы его переработки, то приходилось прекращать эксплоатацию рудников при достижении зоны первичных сульфидов.

Подобные обстоятельства определили необходимость закрытия многих рудников.

В эпоху, когда в связи с применением новых методов обогащения и плавки руд (особенно метода флотации) стала возможной работа на комплексных сульфидных рудах, возобновились эксплоатация и выплавка металла на старых рудниках, которые, как уже отмечалось, были заброшены ранее.

Этому способствовало не только применение новых, эффективных методов разработки и механизации, более совершенного оборудования и новых методов исследования месторождений, основанных на научных принципах, но также и тот факт, что были открыты весьма богатые зоны минерализации в старых рудниках. Удалось также открыть новые месторождения руд, содержащих свинец и цинк, руд, которые в Мексике почти всегда ассоциируются с минералами серебра с известным содержанием в них золота. Таким образом, заложены были твердые основы разработки в больших масштабах руд свинца и цинка в Мексике и переработки как окисленных, так и сульфидных руд на флотационных установках большой производительности.

В соответствии со всем изложенным выше можно выделить в истории разработки мексиканских руд свинца и цинка три

[1] Песо — старинная золотая монета, равная 450 мараведи или 8 реалам. (*Прим. перев.*)

периода: период, предшествующий 1900 г., затем период, который можно назвать переходным, и последний этап, начинающийся с 20-х годов XX века [1].

Согласно многочисленным официальным данным отдела статистики Главного управления горной промышленности Мексики, добыча для этих периодов представляется следующими цифрами:

Таблица 5

Годы	Добыча свинца, *т*	Добыча цинка, *т*
1521—1890	300 000	—
1891—1921	2 351 199	...
1922—1948 (до января 1948 г. включительно)	5 093 055	219 161 3 432 973

Добыча по годам на протяжении третьего периода представлена в табл. 6:

Таблица 6

ДОБЫЧА СВИНЦА И ЦИНКА В МЕКСИКЕ С 1922 ПО КОНЕЦ ЯНВАРЯ 1948 г.

Годы	Свинец, *т*	Цинк, *т*	Годы	Свинец, *т*	Цинк, *т*
1922	110 456	6 141	1935	184 193	135 921
1923	155 720	18 481	1936	215 724	150 250
1924	165 063	24 659	1937	218 133	154 624
1925	178 662	51 794	1938	282 369	172 217
1926	210 794	105 366	1939	219 506	134 166
1927	243 346	137 723	1940	196 253	114 955
1928	236 486	161 747	1941	155 258	154 996
1929	248 401	174 049	1942	197 019	189 873
1930	240 938	142 900	1943	218 126	197 199
1931	226 780	120 289	1944	185 282	218 965
1932	137 325	87 844	1945	205 315	209 940
1933	118 693	89 339	1946	140 143	139 535
1934	166 333	125 185	1947	223 135	195 814
			1948 январь	13 601	18 989

[1] У автора ошибка; у него второй и третий периоды по времени совпадают в тексте и различаются в таблице, где второй период охватывает 1891—1921 гг., а третий — 1922—1948 гг. (*Прим. перев.*)

Почти вся добыча приходится на долю рудников, в которых разрабатываются руды, содержащие серебро, нередко золото и небольшое количество меди.

Исключительно свинцовые или цинковые месторождения далеко не столь многочисленны, как это можно предположить на основании цифр добычи обоих металлов. Их численность весьма мала по сравнению с количеством месторождений, где свинец и цинк извлекаются совместно с другими металлами.

Исключительно свинцовые месторождения, подобные Бильбао (штат Сакатекас) и некоторым месторождениям в западной части штата Чигуагуа, выделяются вследствие высокой чистоты руд, бóльшая часть которых в Бильбао извлекается из зоны окисления, а в рудниках западной части штата Чигуагуа — из сульфидной зоны.

В первом случае разрабатываются руды с содержанием свинца в 74%, во втором (округ Касас Грандес) с содержанием в 70,3%. В исключительно свинцовых месторождениях типа Ла Эсперанса (штат Найярит), которые будут описаны далее и которые в морфологическом отношении отличаются от приведенных выше, содержание свинца варьирует в значительных пределах.

Месторождения свинца и цинка

Географическое распределение. Даже далеко не полный список мексиканских свинцовых месторождений, весьма многочисленных и рассеянных почти во всех штатах страны, занял бы слишком много места и не соответствовал бы задачам настоящей работы. Именно поэтому мы заранее отметим, что из 29 штатов и 2 территорий Мексики свинец добывается в 22 штатах и 1 территории. Не продуктивными являются штаты юго-восточной части страны: Юкатан, Кампече, Табаско, Чиапас, штаты Колима и Тласкала, федеральный округ и территория Кинтана Роо. Небольшое количество свинцовых месторождений, значение которых не установлено, имеется в штатах Колима и Чиапас.

Вообще число свинцовых месторождений в Мексике весьма велико, о чем свидетельствует и карта их географического распределения. На этой карте обозначены лишь наиболее известные месторождения.

В генетическом отношении свинцовые и цинковые месторождения тесно связаны между собой, что подчеркивается и их приуроченностью к одним и тем же районам. Далеко не все свинцово-цинковые месторождения и месторождения этого типа, дающие серебро, показаны на карте, так как количество их очень значительно.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В МЕКСИКЕ
(к карте фиг. 34)

Штат Агуаскальентес

1. Асьентос

Территория Нижняя Калифорния

1. Сан Антонио
2. Мулече

Штат Чигуагуа

1. Корралитос
2. Сан Педро
3. Сабиналь
4. Эскондида
5. Галеана
6. Лос Ламентос
7. Сан Лоренсо
8. Тринидад
9. Санто Доминго
10. Гвадалупе
11. Сан Игнасьо
12. Пломосас
13. Сан Карлос
14. Санта Эвлалия
15. Мильпильяс
16. Сьенегилья
17. Кандаменья
18. Наика
19. Гуракоба
20. Керокауик
21. Уруачик
22. Урике
23. Гвапалайна
24. Парраль
25. Сигарреро
26. Морелос
27. Бальеса
28. Сан Франсиско дель Оро
29. Санта Барбара
30. Коронадо
31. Дос Мариас

Штат Гуанахуато

1. Леон
2. Тлачикера
3. Сан Луис де ла Пас
4. Посос
5. Атархеа
6. Хичу

Штат Герреро

1. Хокотитлан
2. Теуилотепек
3. Телолоапан
4. Эль Лимон
5. Буэнависта
6. Аматепек

Штат Идальго

1. Хакала
2. Эль Оро
3. Бонанса
4. Симапан
5. Кардональ
6. Моланго
7. Асьенда Эстансья
8. Тепенене

Штат Халиско

1. Остотипакильо
2. Маскота
3. Уачинанго
4. Куале
5. Десморонадо
6. Ахихик
7. Кампечана
8. Пиуамо
9. Ауихульо

Штат Дуранго

1. Топия
2. Пеньолес
3. Мапими
4. Минитас
5. Сан Андрес
6. Серро Прието
7. Нория Педрисенья

8. Веларденья
9. Пануко
10. Касамота

Штат Нуэво Леон

1. Игуана
2. Сьерра Вальесильо
3. Вилья Альдама
4. Минас Вьехас
5. Мина
6. Сабинас Идальго
7. Серральво
8. Сабинас Виктория
9. Абасоло
10. Санта Катарина
11. Монтеррей
12. Доктор Арройо
13. Сарагоса
14. Микиуана

Штат Мехико

1. Тлалпухауа
2. Ихтапан дель Оро
3. Альбаррада
4. Уньон
5. Санто Томас
6. Сакуалпан
7. Серро Минас
8. Валье де Браво

Штат Мичоакан

1. Уэтамо
2. Ангангео

Штат Морелос

1. Теотлалко

Штат Найярит

1. Акатан
2. Сопилоте
3. Долорес
4. Компостела
5. Акуитапилко
6. Иеска
7. Кабрера
8. Барранка дель Оро

Штат Коаулья

1. Бокильяс
2. Санта Елена
3. Мускис
4. Сьерра Мохада
5. Ла Мула
6. Окампо
7. Куатра Сьенегас
8. Серро дель Меркадо
9. Химулко
10. Вьеска
11. Паррас
12. Сан Хуан
13. Артеага
14. Артеага

Штат Оахака

1. Тлакотепек
2. Сан Мигель Перас
3. Тлаксиако
4. Аматлан
5. Лачатао
6. Тотомокстла
7. Ятони
8. Лалопа
9. Талеа
10. Солага
11. Явесья
12. Табаа
13. Сан Фелипе дель Агуа
14. Айопуксо
15. Тотомачапа
16. Якукундо
17. Санта Каталина
18. Айокеско
19. Тавиче
20. Сола
21. Коатлан
22. Сан Франсиско
23. Лачигури
24. Гиенагаге
25. Теохомулко
26. Сантьяго Минос
27. Хайакастепек
28. Сакатепек

Штат Пуэбла

1. Сакатлан
2. Яуакатлан
3. Яуинаук
4. Уэитамалка
5. Чьенаутла
6. Теопантлан
7. Теуитсинго
8. Тепехи
9. Теуакан
10. Чиаутла

Штат Керетаро

1. Ауакатлан
2. Эсканела
3. Амолес
4. Букарели
5. Теутла
6. Толиман
7. Берналь
8. Доктор

Штат Сан Луис Потоси

1. Матеуала
2. Чаркас
3. Тапона

Штат Синалоа

1. Тебака
2. Копала
3. Пломосас

Штат Сонора

1. Сан Антонио
2. Сан Филипе
3. Бабиканора
4. Синокипа
5. Аламеда
6. Трен
7. Опуто
8. Тепачи
9. Оркаситас
10. Сауарипа
11. Субиате
12. Сан Хосе
13. Барранкас
14. Сьенегита
15. Баройека
16. Тесья
17. Пломосас

Штат Тамаулипас

1. Вильягран
2. Сан Николас
3. Идальго Ойос
4. Пальмильяс

Штат Тласкала

1. Коаюка
2. Чиньяуапан
3. Тенекста

Штат Вера Крус

1. Сомелауакан

Штат Сакатекас

1. Масапиль
2. Альбаррадас
3. Мескиталь
4. Ньевес
5. Санта Рита
6. Сомбререте
7. Чалчиуитес
8. Проаньо
9. Батеа
10. Пануко
11. Ла Бланка
12. Охо Кальенте
13. Атолинга
14. Анхелес
15. Санта Рита
16. Пинос
17. Фресниль
18. Вета Гранде
19. Эль Боте
20. Сакатекас

ХАРАКТЕРИСТИКА СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ

Месторождения	Округ, штат	Петрологические ассоциации	Морфологические типы	Элементы залегания: простирание	Элементы залегания: падение	Размеры и мощность	Содержание металлов (в среднем): свинец, %	цинк, %	серебро, г/т	золото, г/т
Санта Барбара	Санта Барбара, Чигуагуа	Лутиты, андезиты, риолиты	Жилы	С — Ю	45—75° В	До 30 *м*	1,5—15	1,5—10	200—300	13—6
Парраль	Парраль, Чигуагуа	Глинистые известняки, андезиты	Жилы	СВ — ЮЗ	ЮВ	От выклинивающихся тел до 18 *м*	5,8—33,3	4—20	222—300	—
Нанка	Саусильо, Чигуагуа	Известняки	Манто, трубы	Манто СВ	Трубы почти вертикальны, манто—СЗ	Размеры различны; некоторые рудные тела весьма крупны	13,5	10	400	1.3
Санта Эвлалия	Акилес Сердан, Чигуагуа	Известняки, мергели, риолиты, монцониты	Манто, трубы	Манто СЗ — ЮВ	Мантос — падение пологое, трубы почти вертикальны	Размеры различны; некоторые рудные тела весьма крупные	5,4—35,3	?	1% до 1 430 г/т	—
Сьерра де Альмойя (Алмолойа?)	Сигарреро, Чигуагуа	Известняки, диориты (?)	Жилы и неправильные тела замещения	СЗ 320°	Почти вертикальны	Размеры различные	5—20	25—35	600	—
Лос Ламентос	Вилья Аумада, Чигуагуа	Известняки	Манто	СВ 60—70°	СЗ 15—22°	Манто, ширина от 20 до 150 *м*, мощность от 5 до 13 *м*	22	—	180	—
Сан Педро Корралитос	Касас Грандес, Чигуагуа	Известняки, лутиты, диориты и андезиты	Жилы, трубы, манто	Жилы В—З	С — СВ — ЮЗ	Мощность жил от 0,25 до 40 *м*; манто — переменная	3—7	5—7	1—2??	
Ла Огуэла	Мапими, Дуранго	Известняки, доломитизированные известняки, диориты, андезиты, аляскиты	Трубы, манто, жилы, прожилки	Вдоль пересечения структур и плоскостей напластования в известняках СЗ 315°	З 33°	Поперечник труб от 10 до 40 *м*, глубина до 900 *м*	15—18	—	400—500	6—9

Таблица 7

МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕКСИКИ

Месторождения	Округ, штат	Петрологические ассоциации	Морфологические типы	Элементы залегания: простирание
Сьерра де Рамирес	Ла Пунта де Санто Доминго, Дуранго	Известняки	Жилы	СЗ 315°
Симапан	Симапан, Идальго	Известняки, диориты, монцониты	Жилы, трубы и др.	Различное
Эль Эден	Сакатекас	Андезиты	Жилы	СЗ — ЮВ
Бильбао	Ла Бланка, Сакатекас	Лутиты, граниты	Жилы, карманы	С — Ю
Ла Монтанья	Санта Роса, Сакатекас	Известняки	Жилы	СЗ 285°
Провиденсия	Консепсион дель Оро, Сакатекас	Известняки, монцониты	Трубы	
Платерос	Фреснильо, Сакатекас	Известняки, лутиты, грандиориты	Жилы	СЗ — ЮВ
Сан Мартин, Сан Луис	Сакатекас, Сакатекас	Андезиты, диориты	Жилы	СЗ — ЮВ
Эстрельяс, Гальега	Сакатекас, Сакатекас	Андезиты, диориты	Жилы	СЗ — ЮВ

Продолжение табл. 7

Элементы залегания: падение	Размеры и мощность	Содержание металлов: свинец, %	цинк, %	серебро, г/т	золото, г/т
Почти вертикальны	В среднем мощность 0,80 *м*	2	3	300	—
Трубы вертикальны	Размеры и мощность жил различны, трубы в поперечнике до 40 *м*, глубина до 420 *м*	7,4	—	611	—
СВ 45°	Мощность от 1 до 4 *м*	2,5	4	150	—
В 70° до 90°	Выклинивающиеся; мощность рудных тел, выполняющих пустоты, различна	74,0	—	—	—
ЮЗ 65°	0,30 *м* с участками большей мощности	10—30	—	200	2
Почти вертикальны	Мощность различна, глубина несколько сот метров	8	9	200	0,5
СВ	Выклиниваются	4,9	7,0	164	0,78
ЮЗ	Мощность 1,50 *м*	6	9	400	1,5
ЮЗ	Мощность 2—8 *м*	7	10	150	1

Имеется несколько месторождений, исключительно цинковых. Речь идет об открытых и разрабатываемых месторождениях в Сьерра Мохада (штат Коаулья), Тачко (штат Герреро), Виктория (штат Тампико), Сьерра де-Пломо-Синк, округ Пиуме (штат Халиско) и в различных местах в штатах Чигуагуа и Сакатекас.

Чтобы составить представление о географическом положении цинковых месторождений, достаточно ознакомиться с прилагаемой картой; почти во всех месторождениях содержание цинка в рудах столь значительно, что они имеют при благоприятных экономических условиях промышленное значение.

Месторождения цинка в Мексике встречаются в штатах Агуас — Кальентес, Коаулья, Чигуагуа, Дуранго, Гуанхуато, Герреро, Идальго, Халиско, Мехико, Мичоакан, Морелос, Найярит, Нуэво Леон, Оахака, Пуэбла, Сан Луис Потоси, Синалоа, Сонора, Тамаулипас и Сакатекас и на территории Нижняя Калифорния. Особенно многочисленны и продуктивны месторождения штатов Чигуагуа, Сакатекас и Сан Луис Потоси. Добыча руд из этих месторождений в настоящее время весьма значительна; уровень ее был высок и в минувшие годы.

Свинцово-цинковые месторождения и их петрологические ассоциации. Свинцово-цинковые месторождения Мексики приурочены как к осадочным, так и к изверженным породам. В первом случае — к известнякам, доломитизированным известнякам и лутитам (lutitas), во втором случае — к андезитам, риолитам, гранитным породам, кварцевым монцонитам, аляскитам, трахитам, диоритам. В табл. 1 приводятся сведения о петрологических ассоциациях и прочие данные о некоторых месторождениях, которые избраны в качестве примеров.

Часто рудные месторождения ассоциируют с обоими типами пород. Но в некоторых месторождениях, которые располагаются в горных областях пустынной или полупустынной части штата Коаулья, сложенных известняками, не удалось установить изверженных пород, которые можно было бы рассматривать в качестве активного источника минерализации.

Свиты известняков, с которыми связана свинцово-цинковая минерализация, по возрасту относятся к мелу. Однако вызывает сомнение возраст известняков подобного же типа, но не содержащих фауны. Возможно, что в некоторых пунктах эти известняки могут быть отнесены к верхней юре, поскольку по своему типу они сходны с верхнеюрскими формациями, возраст которых установлен точно.

Все изверженные породы как интрузивные, так и излившиеся, определяются как третичные.

Металлогенические провинции и эпохи. Все месторождения мексиканских свинцово-цинковых руд относятся к одной металлогенической эпохе — третичной, начало которой, судя по данным исследований, относится к миоцену и почти совпадает по времени с периодом наиболее активной вулканической деятельности. С этим начальным этапом связаны весьма мощные излияния андезитов и интрузии диоритов, кварцевых монцонитов и монцонитов.

Эта металлогеническая эпоха захватывает и плиоцен. Плиоценовый возраст имеют свинцовые месторождения типа Бильбао (штат Сакатекас) и некоторые месторождения на западных склонах горных хребтов, связанные с риолитовыми и гранитными породами.

Месторождения свинца и цинка могут быть отнесены к двум металлогеническим провинциям, которые нами приводятся в последовательности, отвечающей их промышленному значению. Первая из этих провинций — северная, вторая охватывает центральную, южную и юго-восточную части страны. Месторождения штата Найярит и тихоокеанского склона Западной Сьерра Мадре по своему экономическому значению уступают месторождениям упомянутых двух провинций и не принимаются во внимание. Но их безусловно следует включить в границы центральной части второй провинции.

Эти провинции выделяются не только с точки зрения характерных для месторождений петрологических ассоциаций или на основании одних лишь географических признаков. Выделение это основывается на явлениях минерализации пород и характерных структурных особенностях, причем имеется в виду, что различные черты структуры определяют явления минерализации и приводят, как об этом будет сказано ниже, к образованию месторождений, отличающихся друг от друга по своему морфологическому типу.

Тектонические проявления, имевшие место в середине третичной эпохи, в весьма сильной степени сказались в Мексике. Именно они открыли пути восходящим минерализующим растворам. Следует учесть (и об этом подробно будет сказано ниже), что тектонические явления в случае кристаллических пород дали начало различным по форме месторождениям, приуроченным к известнякам. Здесь тектонические факторы оказали на уже ранее существовавшие структуры воздействие, благоприятное для интенсивной минерализации.

Структуры. Процессам минерализации, вызванным восходящими растворами, предшествовали следующие явления, наблюдаемые во многих случаях в эксплоатируемых свинцовых и цинковых рудниках. В осадочных породах при смятии их в результате тектонических подвижек или толчков, вызванных внедрением

крупных интрузивов в зоны, которые впоследствии подверглись минерализации, образовались синклинали и антиклинали. Их осевые части (как об этом свидетельствуют данные по руднику Огуэла, штат Дуранго) подверглись разломам; именно здесь образовались зоны, благоприятные в структурном отношении для последующей минерализации, что, в свою очередь, определило и морфологические типы рудных месторождений.

На протяжении миоцена и плиоцена, в периоды развития вулканической деятельности, которая особенно интенсивно проявилась в Мексиканском нагорье в южной части страны, лавы внедрялись по открывшимся линиям разломов. В результате в этой области возникли существенные тектонические элементы, обязанные своим происхождением вулканическим пароксизмам и интрузиям.

В связи с последующими процессами минерализации система рудных структур, ориентированная в общем с СЗ на ЮВ (с подтипами, характеризующимися меридиональным и близким к широтному направлениями), имеет наибольшее значение и с ней связаны самые крупные месторождения.

На значительных площадях третичные лавы перекрывают осадочные отложения; в некоторых областях, главным образом там, где имеются отдельные выходы вулканических пород, лавы приурочены лишь к трещинам, а порой к крупным разломам. Эти трещины и разломы пересекают толщи пород под углом к направлению складчатых структур, ранее существовавших в осадочном комплексе. С этой складчатостью, предшествующей излияниям лав, связаны наиболее значительные в промышленном отношении рудные месторождения. С другой стороны, не лишены значения рудные тела в карбонатных породах; некоторые из них, безусловно, начали образовываться в середине третичной эпохи в результате растворения вмещающих пород. В дальнейшем процессы оруденения привели к минерализации этих пород, причем такого рода рудопроявления также имеют некоторое значение.

Исследования, проведенные в поле, и данные анализов свидетельствуют о том, что в определенных горизонтах карбонатных пород, где они представлены доломитизированными известняками, создавались условия, благоприятные для селективной минерализации процессами замещения.

Процессы минерализации. Осаждение из минерализующих растворов протекало в каждой из упомянутых выше металлогенических провинций различным образом. Процесс этот был более сложным в северной провинции, где сложность его определялась весьма разнообразным характером путей, по которым следовали растворы, и различными физическими свойствами пород, весьма несходных по своему химическому составу. В другой провинции

минерализация более однородна. Здесь растворы, поднимаясь по уже существовавшим ранее трещинам и разломам, постепенно охлаждались, становились насыщенными и начинали на различных глубинах при определенных температурах выделять минералы. Показателем подобного процесса является изменение содержания серебра в свинцово-цинковых месторождениях второй провинции, приуроченных к различным глубинам.

Таким образом образовались свинцово-цинковые месторождения Ангангео (штат Мичоакан), приуроченные к андезитовым жилам, и подобные же им по форме месторождения Техамен (штат Дуранго) и Палома (штат Найярит) в риолитах. Минеральная ассоциация представлена в этих месторождениях свинцовым блеском и сфалеритом, причем в Ангангео в нее включается гринокит. В изобилии имеется пирит; встречается также халькопирит.

В некоторых случаях, например в месторождениях Симапан, штат Идальго, где можно изучать явления минерализации, характерные для обеих металлогенических провинций, были встречены и исследованы (рудник Сирена) трубчатые жилы. На контакте известковых и интрузивных пород (монцонитов) трубчатые жилы образуют рудные тела неправильной формы; эти рудопроявления принято считать контактово-метаморфическими. Изучать их можно особенно успешно в зоне силикатизации, где появляются такие минералы, как гранат, данбурит, апатит и актинолит. Промышленное значение имеют свинцовый блеск и цинковая обманка (содержащая серебро); эти минералы встречаются в ассоциации с пиритом, пирротином, арсенопиритом и джемсонитом.

В Симапанской области оруденения рудные скопления приурочены к довольно широкой зоне разломов, в пределах которой наблюдаются различные монцонитовые жилы. В руднике Колорадо рудное тело следует вдоль вытянутой к ЮЗ линии контакта между монцонитовыми породами и известняками. Вероятно, в ходе остывания монцонитовых интрузий и обусловленного этим сжатия интрузивных тел во вмещающих известняках образовались пустоты, впоследствии заполненные осадками рудообразующих растворов. Следует отметить, что в этом же руднике отмечена серия параллельных или почти параллельных кулисообразных жил, ориентированных с СВ на ЮЗ. Данные полевых исследований исключают гипотезу их происхождения в результате образования кулисообразных разломов и свидетельствуют, что они возникли вследствие сжатия интрузивного тела в процессе его охлаждения.

Эти жилы приурочены как к известнякам, так и к интрузивным породам и располагаются у контактов осадочных и изверженных комплексов. Выполнение их представлено свинцовым блеском, цинковой обманкой, арсенопиритом, пиритом и пирротином.

Как уже указывалось, для рудных месторождений Симапан характерны особенности, присущие месторождениям северной металлогенической провинции. Порой рудные тела образуют трубы (месторождение Ломо де Торо).

В районах, где эксплоатировались такого рода рудные тела, было отмечено, что процессы минерализации привели к образованию значительных по величине месторождений.

Минерализации предшествовали процессы, проявившиеся в осадочных толщах (в равной степени как в известняках, так и в доломитах), к которым и приурочены месторождения этого типа.

В первую очередь, в ходе поднятия толщ осадочных пород возникли антиклинальные складки, симметричные и асимметричные, часто опрокинутые и круто падающие; в последнем случае в процессе поднятия толщ осадочных пород порой образовывались сложные структуры. К осям этих структур были приурочены зоны ослабления, где впоследствии возникли разломы. Пересекая эти структуры, развивались новые системы трещин и разломов, образующие с более древними углы различной величины. Новые дислокации возникали в результате орогенической деятельности или вследствие внедрения диоритовых, монцонитовых и гранитных интрузивных тел в осадочные толщи. Дислокации более ранние можно наблюдать в рудном районе Огуэла (штат Дуранго), где системы разломов имеют следующие направления: первая группа — меридиональная, вторая — широтная. В Наика имеются три системы: северо-восточная, широтная и меридиональная. В Санта Эвлалии насчитывается четыре системы: первая — меридионального направления (с отклонениями порядка 10° к северо-востоку и к северо-западу); вторая — северо-восточная (СВ 55°); третья — северо-западная (СЗ 290°) и четвертая — северо-восточная (СВ 30°).

К участкам пересечения различных структурных зон приурочены пути, по которым циркулируют метеорные воды; эти воды, содержащие углекислоту, порой, отклоняясь от вертикали и проникая в толщу пород причудливыми путями, растворяли обыкновенные и доломитизированные известняки и постепенно подготавливали, таким образом, каналы, по которым впоследствии поднимались горячие рудные растворы. При осаждении из последних и образовались крупные и непостоянные по форме рудные тела, которые возникали по мере дальнейшего растворения известняков в вертикальных или почти вертикальных трубах и в извилистых ходах с ответвлениями.

В некоторых случаях при растворении известняков метеорными водами возникали пустоты, которые затем заполнялись благодаря деятельности рудообразующих агентов, связанных с молодыми интрузиями. Промышленное значение в месторождениях этого типа имеет ассоциация свинцового блеска и цинковой

обманки с пиритом, халькопиритом, пирротином, аргентитом, а в некоторых случаях и с сурьмянистым свинцом.

Вторичное обогащение. Процессы, определяющие вторичные изменения и обогащение мексиканских свинцово-цинковых месторождений, проявляются в них различным образом, в зависимости от местных климатических условий и от возможностей воздействия агентов вторичного обогащения на зону минерализации.

В месторождениях, подвергшихся более интенсивным дислокациям, процессы эти распространяются на значительную глубину. В качестве примера можно привести рудники Сьерра де Санта Мария, в рудном районе Велардeнья, где мощность зоны окисления месторождения доходит до 100 *м*.

В таких месторождениях, как Огуэла, где метеорные воды проникают по рудным столбцам на большую глубину, зона окисления и вторичного обогащения доходит до глубины 500—600 *м*. На такой глубине извлекается огромное количество карбонатов и сульфатов свинца — церуссита и англезита. В ходе разработки руды здесь образуются гигантские подземные пустоты.

Отмечается, что, в общем, зона окисления достигает наибольшей мощности в пределах северной металлогенической провинции, где к обыкновенным и доломитизированным известнякам приурочены рудные столбы, порой весьма неправильной формы. В этой области климат пустынный или полупустынный.

В жильных месторождениях (Палома, Пломосас, Сан Роберто, Тачко, Тавиче и др.) зона окисления не достигает значительной мощности и, в общем, варьирует в пределах от 50 до 150 *м*.

Имеется много свинцово-цинковых месторождений, где зоны окисления первичных сульфидных руд не выделяются достаточно отчетливо вследствие телескопического наложения процессов. В некоторых случаях процессы окисления захватывают лишь часть месторождения, в пределах которого остаются тела, представленные первичными сульфидными рудами.

Это наблюдается главным образом в тех месторождениях, где рудные тела имеют форму столбов и жил.

Лучшие примеры подобного рода наблюдаются на различных горизонтах в рудниках Вета Гранде, Симапан, Наика, Касас Грандес, Кучильо Парадо и во многих выработках в штате Чигуагуа.

К зонам вторичного обогащения мексиканских свинцово-цинковых месторождений, содержащих серебро, приурочены огромные рудные тела (бонанцы).

Морфологические типы. По морфологическим признакам можно выделить следующие три типа мексиканских свинцово-цинковых месторождений.

Первая группа. В центральной, южной и юго-восточной частях страны и в тихоокеанской области месторождения имеют формы трубчатых жил и прожилок различной мощности (от нескольких сантиметров до 10 и более метров) с содержанием свинца в рудном заполнении от 1 до 70% и цинка от 1 до 45%. Зальбанды жил обычно выражены четко и хорошо прослеживаются. Порой встречаются рудные тела в форме карманов в кварцевых жилах, в состав которых входит кальцит и флюорит. Такого рода тела следуют вдоль жилы сообразно ее простиранию и падению и имеют различные размеры.

Имеются рудники, где рудные скопления отмечаются в форме крупных масс неправильных очертаний. Порой промышленное значение таких скоплений оказывается весьма незначительным ввиду их малых размеров. Запасы руд такого рода весьма различны. Некоторые из них содержат сотни и тысячи тонн руды, и разработка их в прошлом приводила к открытию богатых месторождений и к периодам бурного расцвета.

Известны рудники, где минералы свинца и цинка и сульфиды железа и меди импрегнируют вмещающие породы близ контактов с рудными телами.

Такой тип месторождений редок и почти никогда не имеет промышленного значения. К нему относятся месторождения Ми и Мина, различные месторождения в Тачко и в округах Исталан и Сакуилпан, в Тавиче, Пломосасе, Санта Барбара, Сан Франциско дель Оро, Парраль, Пануко, Вета Гранде, Эль Боте, Фреснильо, Эль Доктор. Обычно руды в зонах импреньяции содержат серебро и некоторое количество золота.

Вторая группа. В северной металлогенической провинции крупные рудные тела по форме отличны от рудных тел южной провинции; это вызывается иным масштабом структур, определяющих характер минерализации. Месторождения представлены здесь рудными столбами различной величины, обычно почти вертикальными, круглыми или эллиптическими в плане. Порой высота их достигает нескольких сот метров. Имеются случаи, когда рудные столбы имеют неправильные формы, расщепляются, снова соединяются на больших глубинах или характеризуются искривленными спиралевидными очертаниями. Рудные столбы в своем развитии пересекают плоскости напластования обыкновенных и доломитизированных известняков. Растворы, циркулируя вдоль внешнего края рудных столбов, просачиваются между плоскостями напластования в осадочных породах и образуют новые морфологические типы месторождений манто или плащеобразные залежи, в которых отчетливо проявляются процессы селективного метасоматического замещения; такого типа рудные тела становятся особенно мощными и протяженными в тех зонах, где обыкновенные известняки сменяются доломитизированными. Мощ-

ность манто колеблется в значительных пределах, достигая 10 и более метров в месторождениях Сьерра де Санта Эвлалия.

В таких месторождениях, как Пломосас (штат Чигуагуа), мощность манто, следующих по падению толщ лутитов, составляет около 3 *м* (с незначительными колебаниями в ту или иную сторону). Во многих рудниках манто то утолщаются, то утончаются, образуя линзообразные тела.

Другой тип, который почти всегда бывает приурочен к горизонтам, отвечающим пачкам известняков, представлен рудными телами больших размеров, выполняющими пустоты в карбонатных породах. Пустоты эти обязаны своим возникновением процессам растворения, которые предшествовали рудообразованию.

Подобного типа месторождения отмечаются на рудниках Санта Эвлалия в штате Чигуагуа. Некоторые из них достигают 20 *м* в ширину, 10 *м* по мощности и 50—100 *м* по протяжению.

В Наике в таких залежах выделяются тела, которые местные горняки называют «дикес» (diques). Это блоки известняка, которые в эпоху образования пустот в карбонатных породах отрывались от потолка и погружались в горячие и сгущенные минеральные растворы. Такие ксенолиты найдены были при эксплоатации в различных рудниках.

Ко второй группе относятся месторождения и рудные поля, столь известные, как Огуэла, Митра, Симапан, Эурека, Провиденсия, Леона, Сьерра Мохада и Санта Елена. В месторождениях штата Чигуагуа имеется много примеров залежей, относящихся по морфологическому типу ко второй группе, в том числе такие значительные месторождения, как Санта Эвлалия, Сан Карлос, Кучильо Парадо, Лос Ламентос, Наика, Сьерра де Альмолойя и т. д.

Третья группа. В эту группу входят залежи, представляющие по морфологическому типу комбинации признаков двух предыдущих групп. Как правило, такие месторождения встречаются в северной части страны и имеют форму жил и прожилок, пересекающих осадочные отложения, к которым приурочены рудные столбы, манто и линзовидные залежи.

Месторождения второй и третьей групп не очень крупны, но они характеризуются высоким содержанием свинца, цинка и серебра в рудах.

Минералогические ассоциации. Во многих свинцово-цинковых месторождениях минералогические ассоциации весьма бедны и представлены лишь тонкозернистым, сильно серебристым галенитом, грубозернистым галенитом, сфалеритом и марматитом. Такие ассоциации типичны для месторождений центральной, южной, юго-западной частей страны и тихоокеанского побережья. Эти руды, обычно залегающие в форме жил, часто содержат

(особенно на глубине) большое количество халькопирита. Присутствует также пирит. Минералы жильного выполнения не имеют промышленного значения; к ним относятся: кварц, иногда первичный кальцит, барит, флюорит, окислы железа. В зонах окисления минералами, представляющими промышленный интерес, являются карбонаты свинца и цинка — церуссит и смитсонит или сульфат свинца — англезит.

В месторождениях северной части Мексики, связанных с известняками и другими осадочными породами, минералогические ассоциации более сложны и содержат значительное число различных минералов. Таковы месторождения Санта Эвлалия, Наика и Огуэла.

Свинцовым минералом, представляющим интерес для эксплоатации, является крупнозернистый или кристаллический галенит. Более мелкозернистые его разности содержат и больше серебра.

В зоне окисления главные свинцовые минералы — церуссит и в меньшей степени англезит. В ассоциации с галенитом в выполнении пустот, образовавшихся до возникновения рудных тел, нередко встречаются прекрасно кристаллизованные вульфенит и ванадинит; добыча обоих этих минералов довольно значительна.

Цинковым минералом промышленного значения является цинковая обманка, в случае первичных сульфидов иногда сопровождающаяся гринокитом, а в некоторых месторождениях (Пломосас и Кучильо Парадо) минералами индия и германия. Последние минералы ассоциируются с галенитом и сфалеритом; это дает возможность, пользуясь их пиролюминесцентными свойствами, точно определить в рудниках контуры рудного тела. Достаточно провести по стенке выработки ножом или железным гвоздем, чтобы вызвать эффект люминесценции, мгновенно, впрочем, исчезающий.

С цинковой обманкой встречается вюртцит, виллемит, пирит, пирротин, арсенопирит и марказит. В зоне окисления минералы цинка представлены смитсонитом и каламином в смеси с окислами железа и карбонатом свинца.

Минералы жильного накопления: гематит, лимонит, сидерит, окислы марганца, барит, кальцит, гипс, кварц, различные силикаты.

Генезис месторождений и генетические типы. На основании наблюдений, проведенных в различных свинцово-цинковых месторождениях в обеих металлогенических провинциях Мексики, можно прийти к выводу, что месторождения эти неизменно оказываются генетически связанными с изверженными породами третичного возраста, о которых речь будет идти в другом разделе настоящей работы. Связи между магматическими комплексами, откуда исходят термальные рудообразующие растворы, и место-

рождениями в большинстве случаев выявляются весьма отчетливо, но иногда (например, в месторождении Наика) нельзя обнаружить, даже на больших глубинах, интрузивные тела, которые могли бы быть генетически связаны с свинцово-цинковыми месторождениями, приуроченными к меловым известнякам. То обстоятельство, что интрузивные тела не удается в некоторых случаях встретить даже на весьма значительных глубинах, подтверждается ходом разработки глубоких горизонтов рудника Митра и исследованиями, проведенными при ликвидации последствий катастрофы в рудниках Тиро и Сан Антонио, в Санта Эвлалии, разразившейся в конце 1945 г. Катастрофа была вызвана прорывом подземных вод из стенки сухой по виду выработки, причем дебит в течение двух часов равнялся 400 000 *л/мин*. В результате весь рудник был затоплен и вода установилась на нормальном гидростатическом уровне.

При работах по откачке воды, согласно сообщениям руководства рудника, удавалось за 24 часа понизить уровень всего лишь на 6 *мм*. Первоначально предполагали, что затопление вызвано прорывом стенки большой полости, заполненной водой. Однако довольно высокая температура воды (34° С) заставляет предполагать, что причина катастрофы была иная и что затопление вызвано термальным источником. Предположение это подтверждается наличием таких источников у подошвы хребта Сьерра де Санта Эвлалия с восточной его стороны. Исследования вод дали неопределенные результаты; можно, впрочем, полагать, что воды эти связаны с еще горячим интрузивным телом, возможно, сиенитовым или гранитным, на что указывает присутствие в воде разнообразных, в том числе и редких компонентов — цинка, свинца, меди, олова, серебра, церия, бериллия, никеля, лантана, неодимия, презеодимия, германия, индия и т. д. (сообщение У. Хьютта) [1].

Граниты, риолиты, так же как монцониты, андезиты, диориты, диабазы и другие кристаллические породы, встречены во многих месторождениях и могут обусловливать минерализацию в пределах этих месторождений.

Восходящие термоминеральные растворы выделяли руды, состав которых определялся преобладающими физико-химическими условиями. Этим обусловлено образование таких месторождений, как Симапан, которые в своих глубоких зонах характеризуются как гипотермальные или высокотемпературные, являясь во всех прочих зонах мезотермальными.

Другой весьма богатой залежью гипотермального типа является Санта Барбара, штат Чигуагуа. Вообще гипотермальные месторождения редки. Большинство месторождений относится

[1] W. Hewitt.

к типу мезотермальных (Велардепья, Огуэла, Санта Эвлалия, Наика, Ангангео, Провиденсия, Сан Элисьо, Сьерра Мохада и многие другие).

Парагенезис. Были проведены парагенетические исследования минерализации на различных мексиканских свинцово-цинковых рудниках; при этом выявились весьма интересные взаимоотношения между минералами, которые позволяют установить их относительный возраст, взаимовлияние тех или иных процессов минерализации и температуры, при которых имело место выделение из растворов рудообразующих осадков.

Исследования парагенезиса позволили разрешить ряд металлургических проблем и подойти к разрешению многих вопросов, относящихся к этой области.

Описание закономерностей парагенезиса дается здесь в общей форме; оно детализируется только в некоторых случаях.

В месторождениях металлогенической провинции (охватывающей центральную и южную части страны и западную Сьерра Мадре), имеющих форму жил и карманов, выполнений пустот во вмещающих породах и в известных случаях — импрегнаций вдоль плоскостей разломов, парагенетические характеристики, выявляемые в ходе исследований, отличаются от парагенетических особенностей, свойственных, судя по исследованию шлифов, северной металлогенической провинции. В пределах последней явления минерализации, типы залежей и минералогический состав гораздо более сложны.

В рудных месторождениях, где минералогические ассоциации относительно бедны и, следовательно, не образуют сложных комплексов, отчетливо выявляется следующая парагенетическая последовательность: первым выделяется пирит, за ним, соответственно, следуют сфалерит и свинцовый блеск. Такого типа парагенетическая последовательность характерна для месторождений тихоокеанского побережья. Когда свинцовый блеск представлен тонкозернистыми агрегатами, он содержит больше серебра, обычно встречающегося в виде аргентита. В месторождениях района Амакули и Лас Колорадос в верхних зонах содержание золота значительно, но оно резко уменьшается с глубиной. Обратная зависимость характерна для серебра (рудник Пьедра Бола). В других районах области оруденения по мере появления основных минералов месторождений (сперва свинцовых, а затем цинковых) содержание серебра уменьшается и золото почти совершенно исчезает. Первичное золото сингенетично пириту или же выделяется непосредственно после него.

В месторождениях Ангангео свинцовый блеск и сфалерит встречаются (по крайней мере частично) как сингенетические

минералы. Гринокит выпадает последним в ряду первичных минералов, окружая цинковую обманку.

В северной части страны, в месторождениях Пломосас и Кучильо Парадо, отмечается следующая парагенетическая последовательность: пирит, свинцовый блеск и сфалерит (сульфиды свинца и цинка частично одновременны). Между галенитом и сфалеритом выделяются вторичные минералы индия и германия, обнаруживающие превосходную люминесценцию при исследовании их в ультрафиолетовом свете.

Месторождения северной части Мексики отличаются большим разнообразием минералогического состава, особенно в зоне окисления.

В таких рудниках, как Санта Эвлалия, выявлено до 60 минералов. Парагенезисы минералов в месторождениях этого типа (Наика, Сан Педро Корралитос, Лос Ламентос, Сьерра де Альмолойя, Сигарреро, Пломосас, Сан Карлос и другие в штате Чигуагуа; Провиденсия, Эурека, Леона и другие в штате Сакатекас; Веларденья, Огуэла и Химулко в штате Дуранго и Симапан в штате Идальго) особенно интересны и специфичны.

При изучении минералов рудных месторождений отмечается, что гипогенная минерализация, представленная сложными агрегатами сульфидов, обнаруживает закономерности, типичные почти для всех месторождений. Исключением являются месторождения, где порядок осаждения минералов несколько изменяется в соответствии с температурными условиями и концентрацией восходящих растворов, отлагающих рудообразующие осадки на различных глубинах по мере своего движения к поверхности.

Почти повсеместно первым по времени минералом является кварц, преобладающий на начальной стадии осаждения из растворов. На последующих стадиях он выпадает в меньшем количестве.

Вторым минералом, выпадающим из минеральных растворов, является пирит, который, судя по данным микроскопического исследования, образуется на протяжении значительного отрезка времени; он, несомненно, выпадает первым в ряду сульфидных минералов, но в то же время сингенетичен многим из них. Вслед за пиритом осаждается сперва пиритин и почти одновременно с ним арсенопирит; затем следуют халькопирит и сфалерит. Последний, по крайней мере в начальной фазе формирования сульфидов цинка, осаждается почти синхронно с халькопиритом. Аналогичные сингенетические связи обнаруживаются между сфалеритом и свинцовым блеском.

При осаждении свинцового блеска выпадает также аргентит, а за ним последовательно пираргит и прустит. В Симапане и в рудном районе Эль Доктор имеется в довольно значительном

количестве джемсонит, образующийся в интервале между осаждением минералов цинка и свинца.

При исследовании шлифов под микроскопом обнаружен флюорит, который, повидимому, образуется одновременно с сульфидами. Возможно, что растворы содержали известное количество фтора, что облегчало их циркуляцию той температуры насыщения, при которой начиналось осаждение различных минералов из раствора.

Парагенетические закономерности были выявлены на примере крупных промышленных месторождений Санта Эвлалия, Парраль, Санта Барбара и Симапан.

Супергенные минералы в зоне окисления являются во всех упомянутых месторождениях дериватами первичных сульфидов. Из свинцового блеска образуются сперва церуссит, затем англезит и в меньшем количестве плюмбоярозит, вторичный галенит и миметезит; из сфалерита — соответственно смитсонит, затем каламин, гидроцинкит и виллемит. Продуктом окисления халькопирита является вторичный халькопирит, который, видимо, замещает первичный минерал. В результате дальнейшего окисления обеих разновидностей халькопирита образуются азурит и малахит. Окисление минералов серебра приводит к образованию вторичного аргентита; в верхних частях залежей нередко встречаются богатые включения кераргирита, причем промышленное значение таких включений падает с глубиной. Вторичными минералами, не представляющими интереса для эксплоатации, являются сера (редко), кварц, окислы железа, кальцит, флюорит, гипс и другие.

Добыча

Источники добычи. Свинец и цинк в Мексике в течение последних лет добываются из различных источников: а) при непосредственной разработке рудных месторождений, б) при переплавке старых шлаков, в) при эксплоатации старых отвалов, г) при разработке заброшенных участков старых рудников.

Эксплоатация месторождений. Почти вся продукция свинца и цинка в Мексике приходится на добычу из рудников. Руды добываются порой в зоне окисления месторождений, но в большинстве случаев в зоне первичных сульфидов, где минеральные ассоциации образуют сложные комплексы; обогащение таких руд производится путем селективной флотации, а концентраты поступают на плавку.

Окисленные руды, которые еще недавно добывались в больших количествах в месторождениях, ныне интенсивно разрабатывающихся, сильно истощены, и горными выработками эксплоатируют сейчас главным образом более глубокие горизонты, залегающие

ниже зоны окисления. Тем не менее возможные запасы карбонатов во многих рудниках в северной части Мексики еще значительны.

О качестве руд (в смысле их промышленной ценности и содержания свинца, серебра и золота) можно судить по материалам табл. 7 и 10.

Таблица 8

СУММАРНАЯ ДОБЫЧА СВИНЦА ПО ШТАТАМ в 1922, 1932, 1942 гг.
(в тоннах)

Штаты	1922	1932	1942
Чигуагуа	65 311	98 504	143 763
Сакатекас	18 404	17 737	38 117
Сан Луис Потоси	2 349	4 358	12 104
Коаулья	5 766	3 768	4 030
Дуранго	19 176	2 780	3 121
Мичоакан	6 365	2 731	1 966
Нуэво Леон	1 036	1 064	1 550
Тамаулипас	6	19	1 104
Герреро	681	528	999
Синалоа	—	55	536
Идальго	184	90	235
Сонора	32	137	235
Оахака	—	61	218
Керетаро	360	158	209
Гуанахуато	20	124	122
Агуаскальентес	90	—	110
Найярит	—	354	88
Мехико	—	161	79
Нижняя Калифорния	—	26	67
Северная территория	—	—	98
Итого	113 423	132 654	208 653
Добыча из неустановленных источников[1]	—	4 671	237
Всего	—	137 325	208 890
Добыча, резервируемая предприятиями[2]	2 967	—	11 871
Годовая добыча	110 455	137 325	197 019

[1] На основании сведений о сделках на покупку руд неизвестного происхождения.

[2] На основании сравнения с данными Генеральной статистической дирекции и другими источниками.

Список рудников, где добываются свинец и цинк, составленный в соответствии с их размещением по штатам, был бы чересчур громоздким. Поэтому, имея в виду лишь дать общее представление о добыче этих металлов в различных штатах, мы даем в табл. 8 и 9 только суммарные цифры добычи по штатам на 1922, 1932 и 1942 гг. по официальным данным. Цифры эти могут быть сопоставлены с данными табл. 10 и 11.

Необходимо отметить, что в данных о добыче имеются некоторые расхождения, что объясняется тем, что в табл. 8 и 9 приведены суммарные данные, в табл. 10 — лишь данные по главным предприятиям, а в табл. 11 — цифры, соответствующие весу слитков свинца (содержащего золото и серебро), выплавленных на крупных металлургических предприятиях.

Таблица 9

СУММАРНАЯ ДОБЫЧА ЦИНКА ПО ШТАТАМ в 1922, 1932 и 1942 гг.
(в тоннах)

Штаты	1922	1932	1942
Чигуагуа	Продукция незначительна, цинк был добыт как побочный продукт при обогащении цинксодержащих руд	77 399	129 733
Сакатекас		9 000	42 537
Сан Луис Потоси		1 215	24 539
Мичоакан		—	2 683
Коаулья		—	2 293
Нуэво Леон		—	1 039
Идальго		—	736
Герреро		—	286
Сонора		237	—
Итого округленно	6 100	87 800	203 800
Добыча из неустановленных источников[1]	—	—	—
Всего	—	—	—
Добыча, резервируемая предприятиями[2]	—	—	14 000
Годовая добыча округленно	6 100	87 800	189 800

[1] На основании сведений о сделках на покупку руд неизвестного происхождения.

[2] На основании сравнения с данными Генеральной статистической дирекции и другими источниками.

Таким образом, в табл. 10 и 11 не включены добыча многих мелких рудников и выплавка заводов небольшой производительности.

Переплавка шлаков. В различных частях страны в прошлом эксплоатировались руды из зоны окисления, легко поддающиеся обогащению и плавке.

При плавке этих руд остались большие количества шлаков, накопившихся в процессе разгрузки печей, причем шлаки эти вследствие несовершенства прежнего металлургического процесса содержат высокий процент свинца. В настоящее время более высокая техника плавки позволяет извлекать металл из шлаков такого рода, и за счет этого источника суммарная продукция свинца возрастает ежегодно на тысячи тонн.

Предприятия по переплавке шлаков существуют в старых горнорудных центрах, подобных Симапану (штат Идальго), Пиналь де Аморес (Керетаро), Сомбререте и Чальчиуитес (Сакатекас). Из этих пунктов шлаки доставляются также для переплавки к другим предприятиям. В Масапиле и Седросе, расположенных в штате Сакатекас, было переплавлено 300 000 *т* шлаков. Шлаки Масапиля, судя по данным анализов, содержат 10,3% свинца, 1,06% железа, 15,7% извести, 94 *г/т* серебра, 0,37 *г/т* золота.

В Седросе переплавлено было 135 000 *т* шлаков со следующим средним содержанием различных компонентов: серебра 55,7 *г/т*, свинца 9,1%, железа 16,4%, извести 17,8%, кремния 30,30%, нерастворимых веществ 31,09%, серы 0,48%, цинка 4,2%.

Отвалы. Свидетелями крупных горных разработок колониального периода — эпохи, когда методы обогащения руд были крайне несовершенны, являются огромные отвалы с большим количеством металла, извлечение которого в ту пору представлялось нерентабельным. Здесь содержится много серебра, свинца и в меньшем количестве цинка. При современных методах обогащения возможно и экономически выгодно извлекать из руд этих отвалов свинец, цинк и серебро. Миллионами тонн измеряется количество материала отвалов, уже подвергшихся обогащению.

Заброшенные участки в рудниках. По тем же причинам, по которым в древности сочтено было нерентабельным извлекать металл из материала отвалов, не разрабатывались в рудниках различные участки, в пределах которых содержание свинцово-серебряных и свинцово-цинковых руд было настолько значительным, что в настоящее время разработка этих зон представляет экономический интерес. Такие участки эксплоатируются различными предпринимателями и горнорудными компаниями.

Таблица 10

ГЛАВНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ СВИНЦА И ЦИНКА В МЕКСИКЕ В 1947 г.

Штат, округ и предприятие	Количество извлеченной и обогащенной руды, *т*	Среднее содержание					Продукт, полученный после обогащения, *т*						Назначение
		Золото, *г/т*	Серебро, *г/т*	Свинец, %	Медь, %	Цинк, %	Вид продукта	Золото	Серебро	Свинец	Медь	Цинк	
Чигуагуа													
Алдама													
Компания Minera Nacional . .	18 578	—	24	7,53	—	15,94			0,428	1 260	—	2 765	Переплавка в Чигуагуа и экспорт
Компания Unid. Plomosas Чигуагуа	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	
Компания American Smelting and Refining	218 290		191	10,15		11,40			36	17 434	—	18 494	То же
Компания Unid. Avalos	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	
Акилес Сердон							Концентраты						
Компания Industrialel Potosi .	128 266	—	162	7,48	—	9,30			27	9 829	—	10 288	То же
Идальго дель Парраль													
Компания Minera Asarco . . .	476 070	1,6	129	4,31	0,61	5,92		0,552	51	18 352	2 492	23 891	Переплавка в Чигуагуа в компании Mexican Zinc и экспорт
Мануэль Бенавидес													
Компания Minera Nacional . .	139 100	0,2	102	6,80	—	—		0,019	12	8 520	—	—	Переплавка в Чигуагуа
Сан Франсиско дель Оро													
Компания S. Francisco Mines of Mexico Ltd	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	
Компания Unid. San Francisco .	453 900	0,7	139	5,86	0,59	8,99		0,188	56	24 638	2 451	34 532	Переплавка в Чигуагуа и Торреоне и экспорт
Компания Unid. Clarines . . .	95 357	1,0	151	4,41	0,82	7,82		0,057	11	3 768	628	5 679	
Санта Барбара													
Компания Minera Asarco . . .	364 410	1,0	201	5,03	0,65	7,10		0,271	56	15 159	1 493	22 810	Переплавка в Чигуагуа и Mexican Zinc и экспорт

Компания Unid. Santa Barbara .	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	
Герреро													
Тачко													
Компания Minera, Alarcón (включая компанию Minera San Isidro)	73 300	0,3	236	4,22	—	9,77		0,008	14	2 710	—	7 686	Переплавка в Сан Луис
Мичоакан													
Ангангео													
Компания American Smelting and Refining	134 200	0,6	739	1,84	—	1,08		0,066	94	1 291	—	2 251	Переплавка в Чигуагуа, Сан Луис и в компании Mexican Zinc
Компания Unid. Angangeo . .	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	
Сан Луис Потоси													
Чаркас													
Компания Minera Asarco . . .	250 150	0,3	205	3,02	0,51	10,63		0,020	43	6 350	1 109	22 070	Переплавка в Сан Луис и экспорт
Компания Unid. Charcas . . .	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	
Ла Пас													
Компания Minera S. Maria de la Paz y Ancxos en Matehuala	123 802	2,1	437	1,75	—	2,57		0,244	45	2 106	—	2 705	То же
Сакатекас													
Консепсьон дель Оро													
Компания Minera de Peñoles .	163 723	0,48	227	8,04	—	15,51		0,050	37	14 013	—	23 775	Экспорт
Фреснильо													
Компания Fresnillo	655 418	0,7	285	3,90	0,54	4,86		0,287	170	24 422	3 650	28 690	Переплавка в Сан Луис и экспорт
Всего	3292 384							1,762	653	150 028	11 825	205 630	

Концентраты

Таблица 11

ВЫПЛАВКА СВИНЦА, СОДЕРЖАЩЕГО ЗОЛОТО И СЕРЕБРО НА ПРЕДПРИЯТИЯХ CENTRALES COMPRADORAS в 1947 г.

Штат, округ и предприятие	Вес, *т*	Содержание, *т*			
		Золото	Серебро	Свинец	Медь
Коауилья					
Завод Торреон (компания Met de Peñoles)	55 314	2,19	317,5	53 576,4	247,5
Чигуагуа					
Завод Чигуагуа (компания American Smelting and Refining)	99 568	1,60	359,1	98 714,2	—
Сан Луис Потоси					
Завод в Сан Луис Потоси (компания Minera Asarco) .	41 994	0,80	262,6	41 216,3	—
Всего	196 876	4,59	929,2	193 506,9	247,5

Запасы

Необходимо отметить, что точно установить цифру запасов свинцово-цинковых руд Мексики весьма затруднительно. Крупные компании на своих рудниках в меру потребностей ведут необходимые работы по подготовке массивов и блоков с запасами, обеспечивающими разработку руд в течение нескольких лет. Но большинство мелких предпринимателей и карликовых компаний, масштаб деятельности которых невелик, не заботятся о исследованиях, в результате которых можно было установить запасы руд, предназначенных для дальнейшей разработки. Подобная практика вызывается причинами экономического порядка — подготовительные работы требуют затраты значительных средств, каковыми эти предприниматели не обладают, располагая лишь весьма ограниченным оборотным капиталом. Обычно капитал этот позволяет им лишь покрывать издержки эксплоатации.

Видимые запасы. Компании, ведущие работы большого масштаба, подсчитывают запасы руд в блоках или видимые запасы лишь на срок в несколько лет, так как они никоим образом не могут произвести затраты на работы, необходимые для установления количеств руды в пределах всего своего владения.

Считается, что установленные запасы рудников Парраль, Санта Барбара, Сан Франциско дель Оро, Санта Эвлалия, Сан Педро Корралитос, Пломосас, Сан Карлос, Наика, Сьерра де Альмойа и др. в Чигуагуа; Провиденсия, Сан Элисьо, Эурека, Ла Леона, Платерос и Фреснильо в Сакатекасе; Ангангео в Мичоакане; Симапан в Идальго; Тачко в Герреро; Чаркас в Сан Луис Потоси достаточны, чтобы поддерживать на современном уровне добычу свинца и цинка в Мексике на протяжении многих лет.

Кроме того, как представляется, содержание металла в руде не снижается во времени.

Возможные запасы. Запасы руд, относимых к этой категории в ряде других мест (Бисмарк, Лас Адаргас, Лос Ламентос, Кучильо Парадо, Касас Грандес в Чигуагуа; Санта Роса, Нисьес, Рио Гранде, Чалчиуитес, Ла Бланка, Эль Роте в Сакатекасе; Хишу в Гуанахуато; Доктор в Керетаро; Матеуала в Сан Луис Потоси; Минас Вьехас и Ла Митра в Нуэво Леон; Сакуалпак в Мехико; Тавиче в Оахака), рассматриваются как значительные по своему объему и содержанию в свинцово-цинковых рудах серебра и золота.

Вероятные запасы. Попытки подсчитать количество руд, которое можно было бы рассматривать как вероятные запасы свинцово-цинковых руд страны, насколько нам известно, никогда не предпринимались.

Имеется множество мелких свинцово-цинковых рудников на месторождениях, находящихся в изолированных горных местностях и разрабатывающихся предпринимателями, обладающими ограниченным капиталом. В таких случаях выявляются лишь возможности эксплоатации зон оруденения в пределах данной заявки, т. е. участка с выходом наиболее богатых руд, и не проводятся исследования, необходимые для оценки запасов даже на близрасположенных площадях.

К этой категории могут быть причислены следующие рудники или рудные центры (наиболее известные): в Соноре — Сауарипа и Баройека; в Чигуагуа — Сабиналь, Мильпильяс, Уруагик, Урике, Бальеса, Сьенегита; в Коаулья — Санта Елена и Химулко; в Дуранго — Топиа, Пануко и Уасамота; в Сакатекасе — Мескиталь; в Халиско — зона Маскота, Пиуамо, Ауихульо; в Керетаро — зоны Эль Доктор, Пиналь де Аморес и Толиман; в Оахака — районы Тлахиако, Теохомулко, Сола де Вега, Лачигури и Тавиче.

Многие рудники, запасы которых неопределены и о которых известно только, что в них содержатся обильные и богатые руды, пускаются в эксплоатацию, когда цены на свинец и цинк

повышаются настолько, что обеспечивают прибыльную разработку месторождений.

Запасы прочих видов и зоны, которые могут явиться объектом эксплоатации. На основании всего вышеизложенного и в соответствии с данными, отражающими опыт эксплоатации свинцовых и цинковых рудников Мексики, можно прийти к заключению о том, что запасы, обеспечивающие разработку месторождений этих металлов в будущем, не полностью представлены цифрами, известными нам в настоящее время.

Бесспорно, ныне эксплоатируемые рудники могут давать продукцию еще в течение многих лет; но, кроме этих запасов, имеются еще потенциальные запасы иного рода — огромные количества марматита, содержащего цинк. В настоящее время металлургические процессы для этих руд еще не достаточно разработаны.

Типичными месторождениями марматита являются Пануко и Сан-Роберто в Сакатекасе.

Немало имеется свинцовых и цинковых рудников, приуроченных к отдаленным местам и расположенных в высоких горах и полупустынных районах северной Мексики. В настоящее время разработка их невозможна, так как доступ к ним весьма затруднен; в пустынных районах разработке руд препятствуют недостаток воды и топлива и отсутствие поблизости обогатительных установок — фактор, удорожающий фрахт руды. В силу указанных причин эксплоатация руд в таких пунктах представляется нерентабельной в настоящее время. Хотя месторождения подобного рода, судя по данным, которые были получены за короткое время, могут явиться хорошими источниками добычи, предприниматели вынуждены прекращать их эксплоатацию.

Потенциальные запасы свинца и цинка в Мексике оцениваются как значительные, и для их исследования, как мы полагаем, необходимы геологические изыскания, особенно интенсивные в северной части страны, где локализуются типичные месторождения первой металлогенической провинции.

Исследования в Западной Сьерра Мадре и на юге страны выявляют месторождения в форме жил, карманов и boleos, относящихся ко второй металлогенической провинции.

Дискуссия

Гонсалес Рейна (отвечая на вопрос **Н. Вильсона**). Наилучшие возможности для вероятного открытия новых месторождений свинца и цинка имеются в северной Мексике вдоль Западной Сьерра Мадре. Новые открытия в большинстве случаев будут результатом детальных геологических исследований и разведочных работ.

Г. ФАУЛЕР, Р. ХЕРНОН, Г. СТОУН [1]

ГОРНОРУДНЫЙ РАЙОН ТАЧКО, ГЕРРЕРО

Краткое содержание

В районе Тачко, самом старом горнорудном районе Мексики, серебро добывалось уже в 1570 г. Горнорудная промышленность в районе в связи с открытием помимо серебра и сложных свинцово-цинковых руд вновь оживилась 25 лет тому назад. Район слагается сланцами (с небольшим количеством глинистых сланцев), диоритовыми дайками и силлями, затем известняками и глинистыми сланцами, условно относимыми к меловому возрасту, и более молодыми вулканическими породами. Надвиг по контакту кристаллических сланцев основания отделяет кристаллические сланцы от осадочных и вулканических пород. Совершенно очевидно, что в довулканическое время была интенсивная деформация сжатия, которая изогнула и смяла известняки и сланцы. Многие жилы протягиваются от кристаллических сланцев до осадочных пород, однако главной рудовмещающей областью являются осадочные породы или сланцы вблизи них. Большинство жил, мощностью от одного до нескольких метров, простирается в меридиональном и северо-западном направлениях и имеет крутое падение; жилы разрабатываются при помощи штолен. Рудными минералами являются сфалерит, галенит и продукты их окисления, а также небольшие количества халькопирита. В некоторых жилах отмечено присутствие довольно значительных количеств серебра и золота. Главные жильные минералы — кварц, пирит и гематит.

Введение

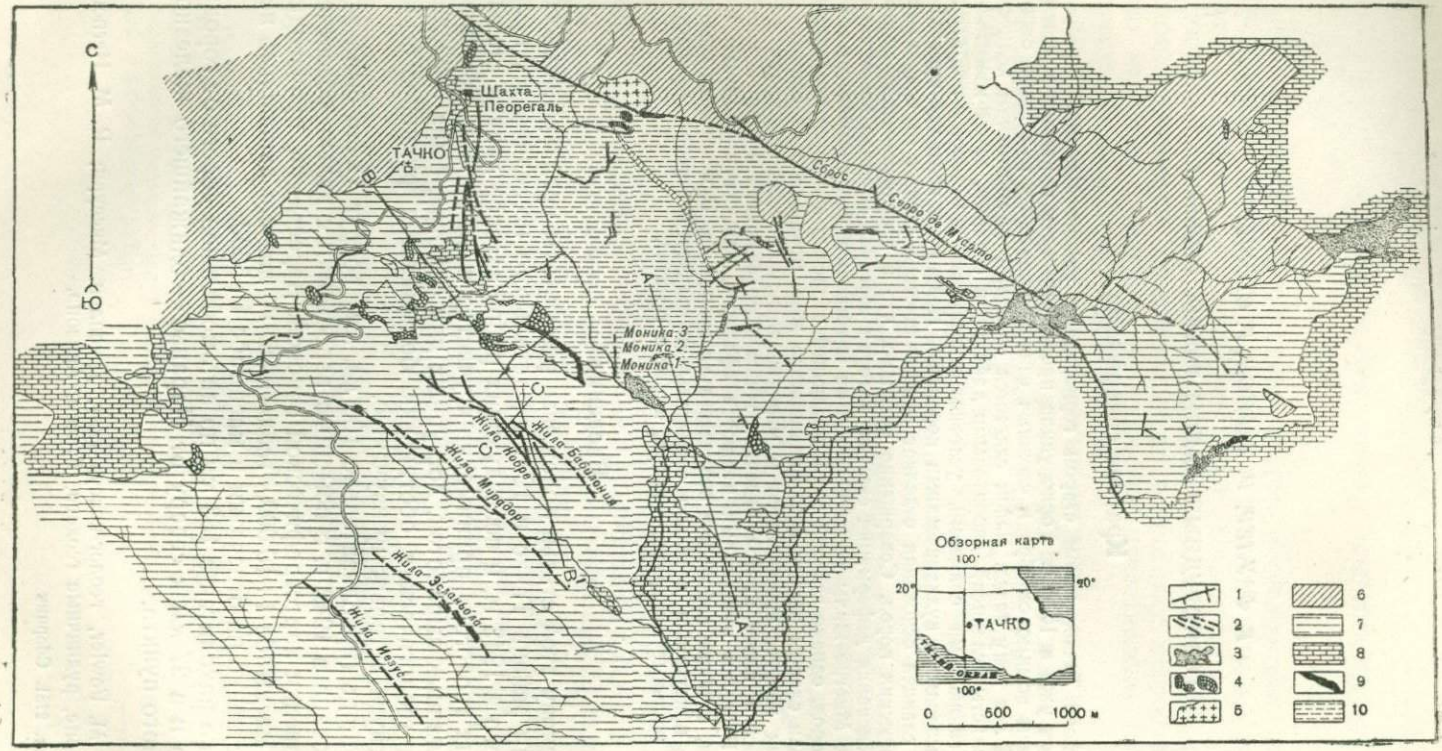
В основу этой статьи положены результаты предварительного изучения района Тачко в 1941 г., детального исследования, проведенного в 1942 г., и последующих работ авторов данной статьи и других геологов, принимавших участие в их работе. Бóльшая часть главных выработок, доступных для осмотра, была обследована, и геологическая обстановка большинства рудников была подвергнута детальному изучению.

Площадь (приблизительно 100 *кв. км*) вокруг Тачко была закартирована в 1942 г. с помощью аэросъемки с целью обеспечения разведки картографической основой. Аэросъемка производилась в масштабе 1 : 10 000, геологические данные наносились непосредственно на отпечатки в масштабе 1 : 5000.

Тачко находится в 163 *км* по автомобильной дороге от города Мехико и в 27 *км* к северу от Нараньо — ближайшего железнодорожного пункта.

---

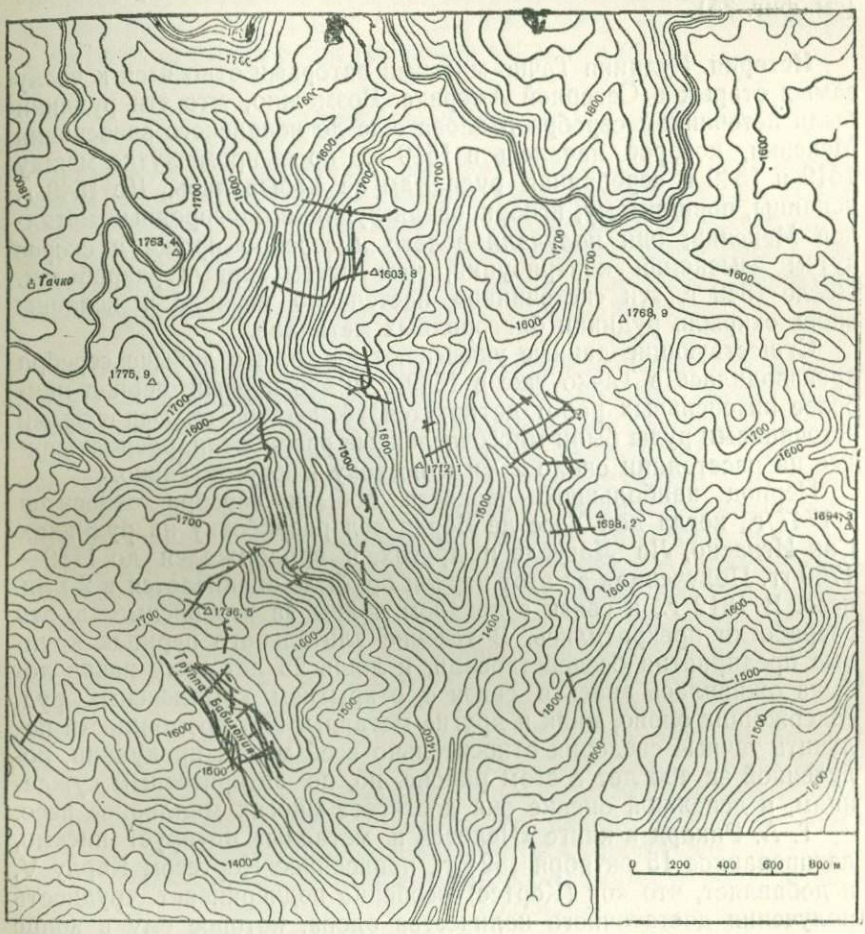
[1] G. M. Fowler, геолог-консультант, Джоплин, Миссури; R. M. Hernon, E. A. Stone, рудничные геологи, Туксон, Аризона.



Фиг. 35. Геологическая карта окрестностей Тачко, Герреро, Мексика. Составлена Клейкомбом, мл.

1—горные работы; *2*—жилы и сбросы; *3*—покровы; *4*—основные интрузии; *5*—риолиты; *6*—эффузивы; *7*—глинистые сланцы; *8*—известняки; *9*—диориты; *10*—сланцы.

Высота Тачко — от 1750 до 1800 *м*, а самого рудного района — от 1300 до 1850 *м*. Гора Уистеко (Huizteco), ограничивающая город с севера, возвышается над Тачко на многие сотни метров.



Фиг. 36. Рельеф поверхности в рудном районе Тачко.

Геологическая карта (фиг. 35) показывает расположение наиболее важных пунктов Тачко, а также группы рудников, которые были или являются в настоящее время источниками руды. Топографическая карта представляет некоторые особенности местности в районе Тачко (фиг. 36).

Рудники группы Бабилония разрабатывались и были важным источником комплексных руд до начала 1947 г., т. е. до истощения

запасов этих месторождений; к этому же периоду относится начало разработки действующих и доныне важных рудников Педрегаль, Иезус и Антликстах (вблизи Ремидойс), а также группа рудников Ла Конча, расположенная в 3 *км* к юго-западу от Тачко (см. фиг. 35).

История. Рудники Тачко многими авторами относятся к числу самых старых в Северной Америке. Возможно, что эти рудники были источником серебра и олова еще до испанского завоевания Мексики, которое началось в 1519 г.; но в промежутке между 1519 и 1549 г. серебряная руда там не добывалась. До 1549 г. испанцы, повидимому, игнорировали рудники благородных металлов Мексики; они получали золото и серебро проще и скорее путем взыскания контрибуций, чем путем горных разработок. После 1549 г. эти «источники» постепенно иссякли и испанцы вновь открыли рудники благородных металлов.

Существующие данные указывают на то, что добыча серебра производилась в Тачко уже в 1549 г. и что первый период наиболее интенсивных работ датируется 1570—1585 гг. Вероятными источниками руды были многочисленные разработки, расположенные на расстоянии около 2 *км* к востоку и югу от Тачко.

Период наибольшего расцвета добычи серебра относится к 1747 г., когда дон Хосе де Борда вел разработку на рудниках Сан Игнасио, Ла Лагуела и других, и продолжался до 1759—1760 гг. Полученная за этот период прибыль оценивается в 2 млн. песо. В 1812 г., в связи с началом войны за независимость, эти разработки прекратились. В течение длительного периода крупные предприятия бездействовали, и лишь 25 лет тому назад добыча оживилась вновь в связи с открытием комплексных руд, содержащих олово, цинк и другие металлы. Нет возможности получить точные сведения относительно всей массы продукции, полученной за 400 лет в этом районе, но, по авторитетным суждениям, в денежной оценке она достигает многих миллионов песо.

Т. А. Рикард в книге «Человек и металлы» цитирует письмо, датированное 15 октября 1524 г., написанное Кортесом Карлу V, и добавляет, что «он (Кортес) особенно подчеркивает трудность получения достаточного количества олова, которое ему в конце концов удалось добыть в Tachco, в местности, расположенной в 26 лигах[1] от города Мехико». Некоторые исследователи высказывают сомнение в том, что Кортес добывал оловянную руду в Тачко, однако в 1943 г. местные горняки нашли небольшие количества касситерита, проявляющегося в виде многочисленных жилочек, а также в россыпях в котловинах среди наиболее молодых вулканических пород, которыми сложена примыкающая

[1] 1 лига равна примерно 6 *км*. (*Прим. ред.*)

к Тачко гора. Авторы подтверждают присутствие олова в образцах из этого материала.

На протяжении 400 лет богатство Тачко составляло серебро и в меньшей степени оловянные минералы. За последнее время главным источником дохода района являются комплексные сульфидные руды, содержащие свинец, цинк, медь, золото и серебро, и постепенно выявляются все новые запасы этих руд.

Вмещающие породы

Геологические формации района Тачко состоят (последовательно) из кристаллических сланцев, известняков, глинистых сланцев и более поздних осадочных и вулканических слоистых пород. Все эти формации секутся интрузиями пород разного типа. Слоистые породы сложены в складки, смяты и местами сброшены, причем сбросовые трещины часто заполнены жилами.

Сланцы. Самая древняя группа обнажающихся пород представлена сланцеватыми формациями неизвестного возраста, состоящими главным образом из серицитовых сланцев и черных углистых сланцев; исходными породами, повидимому, были черные сланцы и в еще большем количестве песчаники — от глинистого до аркозового типа. Эти породы, как показало полевое опробование, практически лишены остаточного карбоната. Отмеченный комплекс содержит многочисленные дайки и силлеподобные залежи интрузивных пород, обычно мощностью менее 5 *м*, которые определяются различными авторами как «андезиты» и «диориты». Насколько известно, эти дайки и силли не интрудируют осадочные породы, лежащие над кристаллическими сланцами. Одна из наиболее крупных диоритовых даек этого типа отмечена на карте вблизи Герендяй. Метаморфические породы характеризуются почти горизонтальной сланцеватостью, за исключением тех случаев, когда они деформированы позднейшими структурами. Структура определяется направлением сланцеватости; во многих местах она почти параллельна контакту кристаллических сланцев с вышележащими осадочными формациями и обнаруживает несколько неправильную мягкую волнистость.

Известняк. В закартированной области кристаллические сланцы перекрываются известняками, мощность которых колеблется в пределах от нуля до 250 *м*. Контакт отмечает главное несогласие и значительные неровности эродированной поверхности, на которой был отложен известняк. Грубо намеченная дуга известнякового пояса, протягивающаяся от Тачко до Теуилотопека, относительно маломощна в обнажении, но становится гораздо более мощной в направлении на юг, юго-запад и юго-восток.

Полагают, что такое увеличение в мощности является следствием отложения на таких же крутых склонах, которыми характеризуется и современная топография местности. Известняк условно относится к меловому возрасту; он желтого или серого цвета, массивен, очень толстослоист и содержит плохо сохранившиеся остатки ископаемых.

Глинистые сланцы. Массивные известняки покрываются серыми и темносерыми меловыми сланцами, которые имеют минимальную видимую мощность не менее 300 *м*. Точные взаимоотношения между этими формациями неясны. Сланцы, повидимому, относятся к меловому возрасту; в нижней части они известковисты и содержат пропластки нечистого известняка, что особенно характерно для нижних 30 *м* формации. Некоторые из этих известковых пластов содержат окаменелости. В тех местах, где почти не наблюдается нарушений, обе эти формации залегают согласно и резко сменяют одна другую, в большинстве неизученных участков наблюдались значительные структурные нарушения.

Молодые осадочные и вулканические породы. Описанные выше деформированные и эродированные породы местами перекрываются так называемой «вулканической серией». Нижняя часть этой толщи состоит из конгломератов (главным образом известняковых), песчаников и тонкозернистых осадков, повидимому, туфовых. Присутствие в крутых каньонах валунов обсидиановых и фельзитовых изверженных пород указывает на то, что вышележащие формации сложены потоками лавы. Эти формации были когда-то гораздо более распространенными. «Вулканическая толща» отделена угловым несогласием от нижележащих кристаллических сланцев, известняков и глинистых сланцев.

Молодые интрузивные породы. Интрузивные образования разных типов секут осадочные и туфовые вулканические породы; к ним относятся небольшие некки и дайки темной, почти афанитовой породы, а также некки и дайки риолитов иногда довольно крупного размера. Риолитовые дайки и некки характерно выражаются в рельефе местности вблизи Тачко по дороге от Мехико до Акапулько и выше на склонах хребта. Небольшой некк темной породы обнажается у этой дороги в расстоянии около 1 *км* от Тачко.

Структура

Слоистые породы в области Тачко были нарушены повторявшейся складчатостью, смятием и сбросами. Сбросовые трещины в большинстве случаев заполнены жилами.

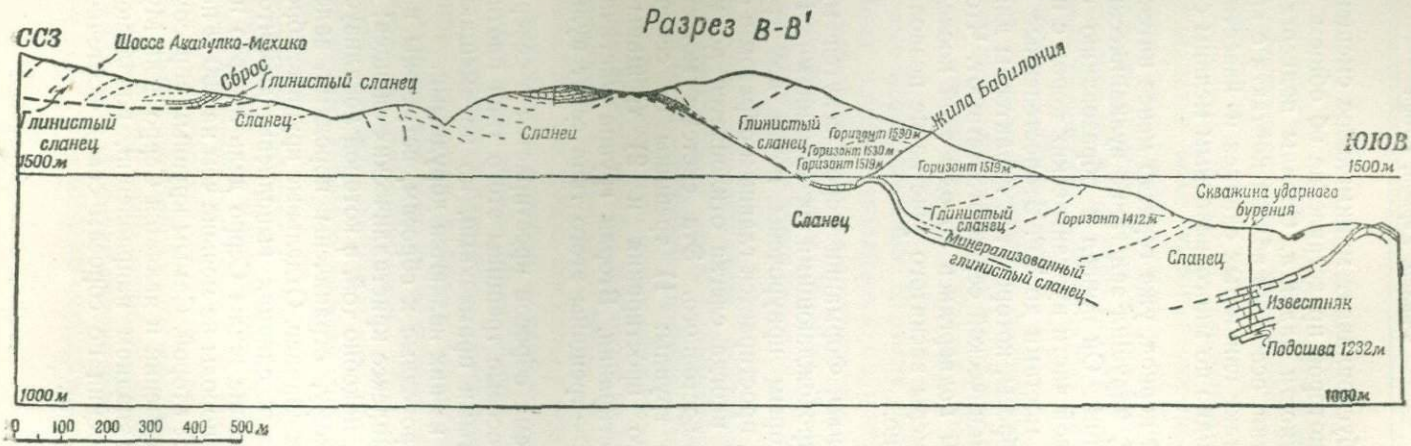
Характер нарушений. В метаморфическом комплексе наблюдаются смятия и нарушения, часть которых безусловно моложе, чем вышележащие осадочные породы. Падение пород этой толщи всегда пологое, обыкновенно под углом менее 20°; исключение представляют те случаи, когда породы смещены позднейшими сбросами. Складчатость и смятие в метаморфической серии выражены менее отчетливо, чем в осадочных породах.

Породы послесланцевой и довулканической группы подверглись сильной деформации; известняки и сланцы собраны в крупные антиклинальные складки и куполообразные антиклинали, крылья которых обычно падают под углом 45°; местами падение их достигает 60°. В сланцах наблюдаются многочисленные мелкие структуры, моноклинальные складки и небольшие взбросы. В пределах небольшого изученного участка наблюдалось более крутое падение северных крыльев главных антиклиналей, чем южных.

О том, что имело место сжатие, свидетельствует самый характер подвижек. Подошвой надвига является контакт между осадочными породами и подстилающими кристаллическими сланцами, которые непосредственно ниже контакта местами подверглись интенсивному раздроблению, и местами сохранились только их мелкие обломки. Далее вглубь от контакта деформация ограничивается немногочисленными небольшими зонами скалывания, расположенными на большом расстоянии, между которыми кристаллические сланцы смяты в более мелкие структуры; вследствие раздробления сланцы местами превращены в брекчиевидную породу, в которой рассеяны обломки тонких, более компетентных пластов. Там, где известняки отсутствуют, влияние нарушения не столь ярко выражено и контакт может быть представлен только зоной изменения мощностью 0,5—1 *м* под сильно нарушенными сланцами.

Типичные взаимоотношения горных пород с поверхностью деформации видны в вертикальных разрезах, проходящих вблизи Пичахуа и через группу Бабилония (см. фиг. 37 и 38). Нарушение вдоль контакта между кристаллическими сланцами и известняками, повидимому, может быть определено как надвиг, который произошел в то время, когда осадочные породы были смяты в складки на неровной поверхности погребенной формации кристаллических сланцев. Давление, вероятно, было направлено приблизительно с юг-юго-востока. Амплитуда перемещения вдоль контакта не определена, но, повидимому, она была значительна, так как ее физический эффект очевиден. Нужно отметить, что сланцы падают обычно на север, в то время как контакт известняков и сланцев имеет обратное падение. Приблизительно в 500 *м* к югу от церкви в Тачко в результате подвижки, интерпретируемой как взброс, известняк надвинут на глинистые сланцы. Эта подвижка,

Фиг. 37. Вертикальный разрез $A — A'$ в районе Тачко (см. фиг. 35).



Фиг. 38. Вертикальный разрез $B - B'$ в районе Тачко (см. фиг. 35).

повидимому, обусловливает минимальное смещение в 200 *м*, что может дать некоторое представление об общем смещении вдоль главной поверхности надвига. Сланцы подверглись сильной деформации сжатия, особенно вблизи контакта с кристаллическими сланцами. Контакт глинистых сланцев и известняков был также нарушен, что видно по многочисленным мелким складкам волочения и взбросам.

Позднейший период, уже гораздо менее интенсивной складчатости и смятий, нарушил залегание вулканических пород и всех древних формаций. Он привел к образованию пологих складок в нижней туфовой части вулканических пород с падением обычно меньше 15°, но местами до 30°. Второстепенные смятия, складки волочения и взбросы, которые так характерны для большей части сланцев, в вулканической серии отсутствуют. Что касается нарушений, которым подверглись породы этой последней группы, то небольшие размеры заснятого участка не позволяют дать их детальное описание.

Сбросы и жилы. Формации пород секутся многочисленными сбросами и сопровождающими их трещинами. Главная система трещин, к которым приурочены почти все трещинные жилы в районе Тачко, простирается главным образом в северо-западном направлении, а иногда слегка отклоняется до меридионального и север-северо-восточного. Эта система может быть подразделена на две группы: 1) трещины от северо-западного до меридионального простирания и 2) трещины восток-северо-восточного простирания. Вторая группа частично, повидимому, моложе первой — трещины этого типа секут вулканические формации.

Вторая система сбросов простирается в северо-восточном направлении. Сбросовые трещины этого типа плотно сомкнуты, отмечены глинистыми примазками, но не вмещают рудных жил, хотя некоторые из них являются дорудными.

Жилы, приуроченные к сбросам, встречены во всех слоистых породах и в комплексе кристаллических сланцев; некоторые сбросовые трещины, подобно той, в которой локализуется жила Бабилония, повидимому, ограничены породами, залегающими выше кристаллических сланцев. Отдельные крупные сбросовые трещины в кристаллических сланцах выполнены диоритовыми дайками. Сбросы, вмещающие жилы Серро дель Муэрто и Герендяй, смещают контакты породы не меньше чем на 200 *м* первый и приблизительно на 75 *м* второй. Самым крупным сбросом из всех закартированных нарушений и является Серро дель Муэрто; смещение вдоль него в западном направлении, повидимому, не меньше 400 *м*. Перемещения по сбросам северо-восточной системы, повидимому, невелики.

Минерализация

Минерализация района Тачко выражается жильными месторождениями и месторождениями замещения. Среди них выделяются следующие типы:

1. Свинцово-цинковые жилы с переменным содержанием серебра. В большинстве жил жильная порода кремнистая, но жилы, секущие известняк, иногда содержат карбонатную жильную породу. Преобладающим металлом является цинк. Типичные первичные руды содержат от 10 до 25% суммы металлов (свинца и цинка), небольшое количество меди и от 50 до 500 *г/т* серебра. Содержание золота — 1 *г/т* и меньше.

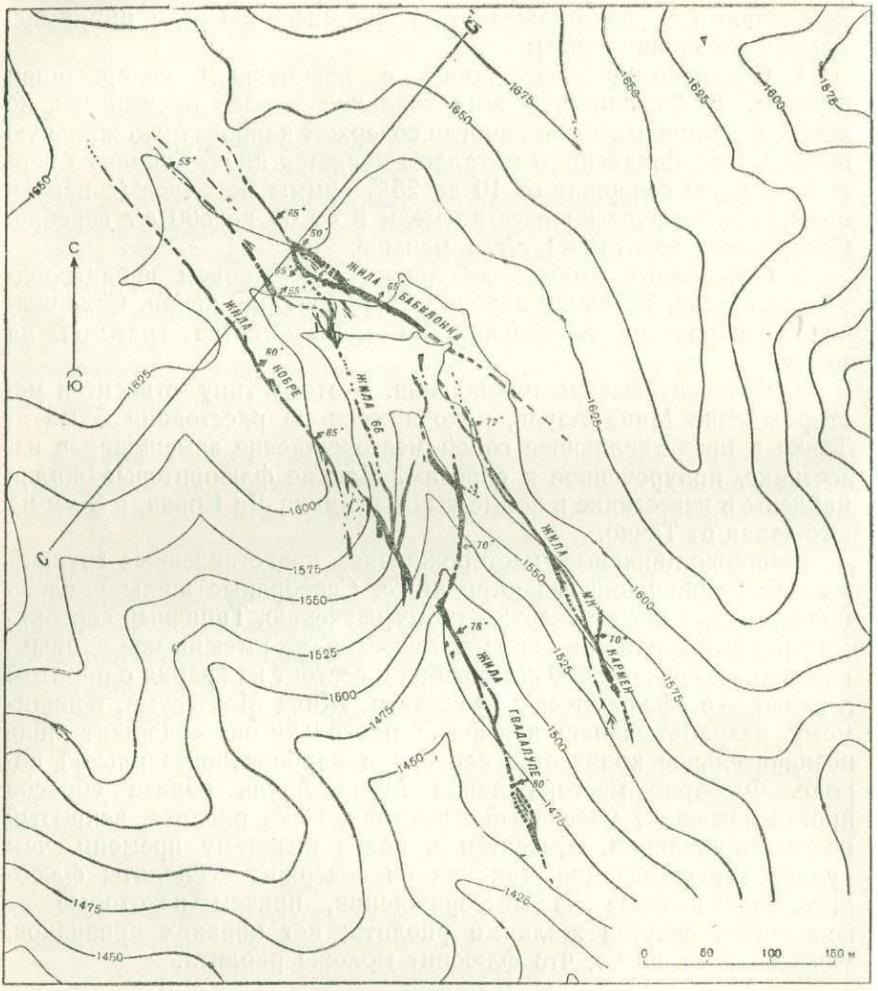
2. Серебряные жилы с небольшим содержанием неблагородных металлов. Жильная порода — карбонат или кварц. Содержание серебра — от нескольких до многих сотен граммов на тонну.

3. Флюоритовые месторождения. К этому типу относится месторождение Мина Азуль, находящееся на расстоянии 5 *км* от Тачко и представляющее собой месторождение замещения в известняке, приуроченное к сбросам. Мелкие флюоритовые жилки найдены в известняке в холме выше рудника Ла Конча, в 3 *км* на юго-запад от Тачко.

Свинцово-цинковые месторождения, представленные группой жил Бабилония, описываются ниже. Серебряные жилы удалось подвергнуть только поверхностному изучению. Типичный серебряный рудный столб описываемого участка, по имеющимся данным, содержит в среднем 800 *г/т* серебра и состоит из кварца с пиритом и редко — с сфалеритом и галенитом. Жила Монтесума, повидимому, разрабатывалась как флюс, поскольку она содержит лишь незначительное количество серебра в карбонатной жильной породе. Флюорит месторождения Мина Азуль вблизи сбросов иногда замещает массивный известняк. Некк риолита, вскрытый на месторождении, относится к более позднему времени, чем рудная минерализация, так как он содержит ксенолиты флюорита, захваченные из месторождения, причем некоторые из ксенолитов секутся жилками риолита; нет никаких признаков, указывающих на то, что флюорит моложе риолита.

Система жил группы Бабилония. Эта группа, эксплоатируемая с 1942 г., состоит из жил Бабилония, Эль Кобре, Ми Кармен и ряда других, менее значительных (фиг. 39). Эти жилы локализированы в сбросах и трещинах север-северо-восточного простирания. Топография местности благоприятствовала вскрытию жил штольнями, и вся вынутая масса руды, достигающая 700 000 *т*, была добыта в штольнях. Меньшие количества руды получены из жилы Гвадалупе, расположенной непосредственно к югу от жилы

Эль Кобре, и из жилы Мирадор, находящейся южнее описанных выше жил. Эти жилы географически и геологически отделены.

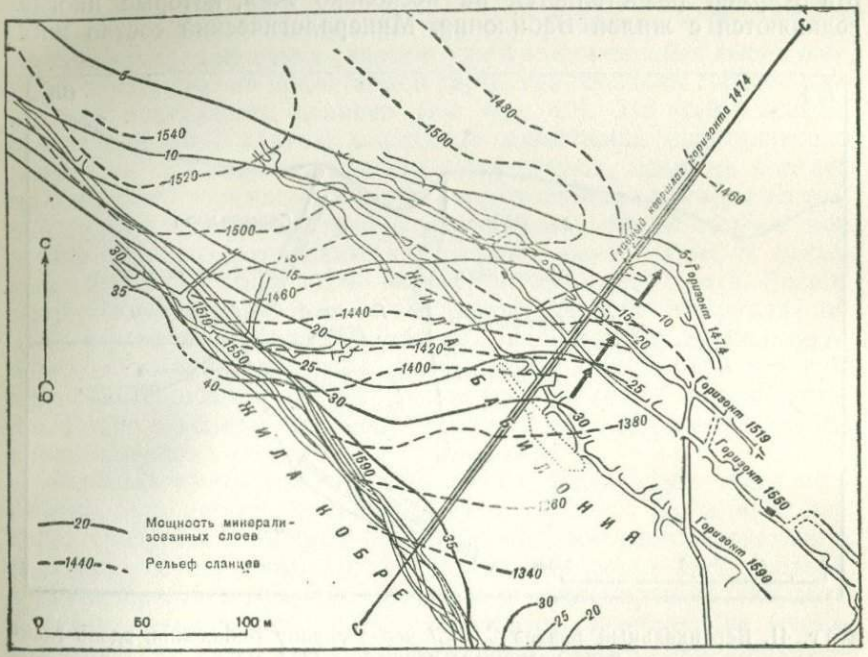


Фиг. 39. План поверхности группы Бабилония.

Разлом и жила Бабилония простираются в северо-западном направлении и падают на северо-восток под углом 50°; местами падение варьирует от совершенно горизонтального до вертикального. Типичная жильная структура, повидимому, ограничена осадочными породами, и трещинная зона могла образоваться вследствие движения осадочных пород вдоль контакта с погребенным

гребнем кристаллических сланцев, причем нижняя часть жилы залегает параллельно этому гребню (фиг. 40 и 41).

Жила Бабилония с глубиной становится менее мощной — мощность ее уменьшается от 2—10 *м* приблизительно до 1 *м*. Самая мощная часть жилы, вблизи поверхности и на поверхности, находится между ее пересечениями с жилой Ми Кармен, падающей



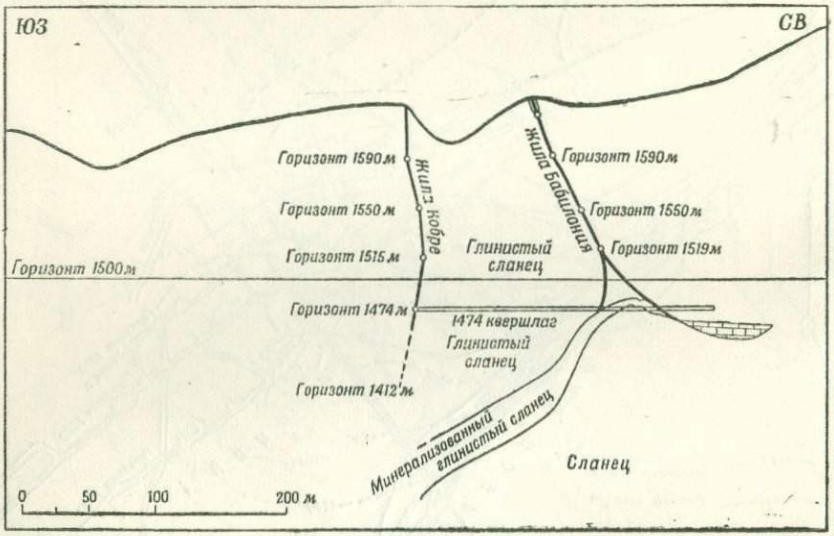
Ф и г. 40. Часть группы Бабилония; показаны горизонтали подземного рельефа сланцев и мощность минерализованной толщи.

на восток, и жилой «66», падающей на запад. Ниже рудное тело выполаживается и оканчивается над горизонтом 1474 *м*. Силифицированные сланцевые зальбанды жилы обладают достаточной мощностью, а ее падение достаточно круто для применения магазинной системы добычи.

Жила состоит из грубо полосчатого кварца, включений частично силифицированных глинистых сланцев, рассеянного пирита, сфалерита и галенита и полос грубозернистых высокопроцентных сульфидных руд мощностью до 1 *м*. Прожилки позднего кварца и барита секут массивные сульфиды.

Жила Ми Кармен сходна с жилой Бабилония, но простирание ее ближе к меридиональному, а падение немного круче; присутствующий в жиле кварц в гораздо большей степени носит черты

заполнения пустот, участвуя в тонкой крустификационной полосчатости по стенкам, вокруг обломков вмещающей породы и многочисленных пустот. Мощность жилы — от 1 до 3 *м*, но с глубиной и в направлении на северо-запад она уменьшается; одновременно жила становится более бедной, и ниже горизонта 1747 *м* — практически безрудной. В направлении на северо-запад жила Ми Кармен разветвляется на несколько жил, которые иногда сединяются с жилой Бабилония. Минералогический состав жил



Фиг. 41. Вертикальный разрез $C - C'$ через группу Бабилония, вдоль главного квершлага горизонта 1474 *м*.

Бабилония и Ми Кармен сходен, за исключением присутствия в первой жиле большего количества спекулярита, особенно в нижних частях месторождения.

Жила Эль Кобре, наиболее богатая изо всех жил группы, варьирует в мощности от проводника до 2,5 *м*, и очистные выработки достигают приблизительно 1,5 *м* ширины. Эта жила почти вертикальна, простирается на север-северо-запад почти параллельно жилам Ми Кармен и Гвадалупе и слагается из нескольких кулисообразных составляющих. Отдельные рудные столбы неправильны или падают на северо-запад в виде кулисообразных ответвлений, но основной столб Кобре полого падает на юг. Подобно жилам Бабилония и Ми Кармен жила Эль Кобре уменьшается в мощности с глубиной, становится беднее и практически безрудна ниже горизонта 1474 *м*. Местами прекращение оруденения обусловливается пересечением жилы с тонкими трещинами скалывания,

простирающимися почти параллельно жиле Эль Кобре и падающими под углом 65° к запад-юго-западу. Жилы Ми Кармен, Гвадалупе и Эль Кобре — все содержат значительные количества спекулярита. Сульфиды в жиле Эль Кобре сосредоточены главным образом в пределах сильно обогащенных полос, разделенных полосами измененного сланца и кварца.

Месторождения замещения группы Бабилония. Подземный гребень кристаллических сланцев, уже упоминавшийся выше, изображен частично на прилагаемой карте, где показаны горизонтали верхней поверхности сланцев (см. фиг. 40). На всей площади, охваченной этой картой, массивные известняки, подстилающие глинистые сланцы, повидимому, отсутствуют, если не считать маломощного горизонта, подсеченного бурением, на северо-восточной стороне подземного гребня (фиг. 41). На южной стороне подземного гребня кристаллических сланцев выработками и алмазными буровыми скважинами оконтурено крупное, но очень бедное месторождение замещения в известковых сланцах. Эта рудная залежь варьирует в мощности, как это видно на структурной карте поверхности кристаллических сланцев. Нужно отметить, что наибольшая мощность этого месторождения наблюдается вдоль жилы Эль Кобре и вблизи почти отвесного «склона» подземного гребня кристаллических сланцев.

Минералогически эта рудная масса значительно отличается от жил, хотя многие минералы обычны и для нее и для жил. Она характеризуется большими количествами массивного магнетита и гематита, обусловливающими содержание около 25% железа, а также присутствием ильваита, сильно железистого актинолита и редких пирита, сфалерита и галенита. Подобное же месторождение, но без признаков окисления, обнажается приблизительно в 1 *км* от рудника Бабилония, на участке Лас Кинтуплес. Оно, вероятно, продолжается на северо-запад и, наверное, представляет собой не что иное как продолжение месторождения замещения рудника Бабилония. Это месторождение, подобно рудной залежи Бабилония, повидимому, приурочено, если не целиком, то частично, к сланцам, хотя здесь и присутствует главная известняковая толща значительной мощности.

Парагенезис. Парагенезис рудных и жильных минералов определен главным образом на основании изучения жил на месте и образцов в штуфах. Общая последовательность минералов в жилах такова: кварц, пирит, сфалерит и галенит, поздний кварц, слюдоподобный спекулярит, флюорит и барит. В месторождении замещения магнетит и гематит, повидимому, более ранние, чем сфалерит и галенит; ильваит и железистый актинолит являются досульфидными. Насколько известно, гематит месторождения

замещения массивен и непохож на слюдоподобный спекулярит жил. Жильный спекулярит, хотя бы частично, в некоторой его части является послесульфидным, так как он заполняет пустоты в жилах позднего кварца, которые секут массивные сульфиды. Изредка встречается флюорит по зальбандам жил в ассоциации со слюдоподобным спекуляритом. Барит обычен в виде тонких жилок, секущих массивные сульфиды. Микроскопическое изучение полированных шлифов руд жилы Бабилония не выяснило характера выделений серебра. В некоторых других рудниках района встречены красная серебряная руда, аргентит и дендриты серебра.

Локализация рудных столбов. Во всем районе Тачко крупные рудные столбы приурочены к глинистым сланцам и известнякам, а также к верхней части подстилающих кристаллических сланцев, причем в последних минерализация не распространяется глубже чем на 150 *м*. Некоторые крупные рудные столбы залегают целиком в пределах сланцев или массивных известняков. Другие же расположены между кристаллическими сланцами и осадочными породами или находятся частично в глинистых, а частично в кристаллических сланцах. Несколько мелких рудных залежей встречено в массивном известняке. В каждом отдельном случае фактором, контролирующим рудоотложение, повидимому, являлись благоприятные структурные условия.

Есть все основания считать, что кристаллические сланцы являются благоприятной вмещающей породой, так как в них залегают все крупные рудные тела. Некоторые жильные трещины расщепляются в глубину, но опять сходятся в кристаллических сланцах; отдельные жилы, далеко проникшие в кристаллические сланцы, маломощны, но их минералогия такова же, что и в осадочных формациях.

Можно предположить, что описанные выше движения надвигового характера благоприятствовали приоткрыванию части глубинных разломов вблизи контакта кристаллических сланцев и над ним. Также не исключено, что некоторые трещинные жилы ограничены породами, лежащими над контактом, что, повидимому, справедливо по отношению к трещинной жиле Бабилония. Такие трещины могли образоваться в результате приспособления блока осадочных пород при его движении по неровной поверхности несогласия в его основании. Возможно также, что движение сланцев вдоль юго-западного «склона» подземного гребня кристаллических сланцев в руднике Бабилония обусловило раздробление сланцев над контактом и, таким образом, подготовило их для минерализации и образования крупного месторождения замещения, состоящего главным образом из окислов и силикатов железа.

Рудные столбы группируются там, где расположение трещин указывает на сильное раздробление, как это видно на участках

Бабилония, Педрегаль, Атликстас, Иезус и Ла Конча. Некоторые рудные столбы занимают всю мощность жил. Отдельные рудные столбы локализуются на пересечении или сопряжении жил.

Текущая горнорудная деятельность

В настоящее время горные работы ведутся во многих частях района Тачко. Широкая и интенсивная разведка группы Ла Конча, в 3 *км* к юго-западу от Тачко, привела к оконтуриванию новых рудных месторождений.

ПЕРУ

СВИНЦОВЫЕ И ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПЕРУ[1]

Краткое содержание

Уже с давних времен в месторождениях Высоких Анд Центрального Перу добывался свинец в качестве побочного продукта. За последнее двадцатилетие успехи, достигнутые в области металлургии, а также внедрение современного оборудования дали возможность организовать здесь в крупном масштабе рентабельную разработку свинца и цинка в ряде округов, в которых ранее были известны медь и серебро или какой-нибудь один из этих металлов. Расположенные на протяжении 350 *км* вдоль главного горного хребта и в основном прямо на восток от него, эти продуктивные округа охватывают участки, где главная часть добычи свинца и цинка в области приходится на месторождения корпораций в Серро де Паско, Морокоча, Касапалка и Сан Кристобаль.

Со стороны физиографических, орогенических и петрогенических условий, а также и по своей характерной металлогении, Андский пояс представляет единое целое, несмотря на исключительное разнообразие отдельных его составных частей. Этот основной парадокс постоянства формы, сплетенной из контрастирующих деталей, оказывается действительным не только в отношении всей этой центральной части Перу, но находит свое отражение и в отдельных ее районах и даже в отдельных месторождениях.

Так, например, свинцово-цинковые руды Перу встречаются в самых разнообразных породах, структурах и ассоциациях. Их распределение и гидротермальный генезис определяются связью их с местными гипабиссальными интрузивами промежуточного состава, предположительно третичного возраста. По классификации, предложенной Линдгреном, свинцово-цинковые руды сами по себе представляют в различных округах ряд — от мезотермальных до предельно низкотемпературных лептотермальных. В некоторых округах они составляют периферический или пенепериферический член правильного зонального ряда, наиболее высокотемпературный член которого может достигать пирометасоматического типа, а наиболее низкотемпературный может быть эпитермальным. Цинк, встречающийся в виде сфалерита, колеблющегося по своему составу от почти чистого до сильно железистого, обычно преобладает над свинцом, присутствующим преимущественно в виде галенита, а иногда в виде сульфосолей. Как правило, в свинцово-цинковых рудах содержится серебро в извлекаемых количествах; в большинстве руд имеется также и медь; некоторые руды содержат кадмий или висмут; небольшую, но ценную составную часть руд составляет индий; в одном из месторождений обнаружен в значительном количестве вольфрам.

Из четырех перечисленных выше округов округ Серро де Паско, известный как источник меди и серебра, обладает вместе с тем и наиболее крупными запасами свинца и цинка. Эти руды представляют собой богатые

[1] Составлено Геологическим отделом компании Copper Corporation в Серро де Паско.

свинцом и цинком части большого пиритового метасоматического тела серповидной формы, образованного вдоль сброса; это тело расположено тангенциально по отношению к большому жерлу вулкана, частично заполненному брекчией, а отчасти кварцево-монцонитовым порфиром. Противоположная (восточная) стенка этой части сброса сложена филлитами и перекрывающими их известняками. Свинцово-цинковые тела развиваются преимущественно в той части пиритового полумесяца, которая заместила известняк.

В Морокоча антиклиналь осадочных и древних *эффузивных пород* прорывается кварцево-монцонитовым штоком и пересечена многочисленными жилами. Жилы, содержащие свинцово-цинковые руды, расположены в зоне, окружающей центральный шток и лежащей на некотором расстоянии от него. В тех местах, где некоторые жилы пересекают известняки, благоприятные пласты замещены и образуют плащеобразные рудные залежи *мантос*. Внутри свинцово-цинковой зоны в той же системе жил залегают медные руды, являющиеся основным продуктом округа.

В округе Сан Кристобаль филлиты и древние эффузивные породы пересечены *монцонитовым порфиром*. В *мощной неправильной* серии жил, проходящей в основном среди филлитов, под влиянием местных изменений в количестве и в соотношениях между сульфидами образуются столбы медно-свинцово-цинково-серебряных руд. Близ мест пересечения с порфировыми дайками существенной составной частью жил становится вольфрамит.

В Касапалка сильно дислоцированные осадочные породы и молодые эффузивы пересечены монцонитовым порфиром. Зона прерывистой трещиноватости, пересекающая пласты, представляет собой обширное рудное тело с интересным зональным строением; форма эта обусловлена изменениями, совершающимися в направлении вниз и в стороны. Свинцово-цинковые руды со значительным содержанием серебра представляют преобладающую составную часть этой структуры; но они занимают промежуточное положение, переходя кверху в богатые эпитермальные серебряные руды и под конец в низкопроцентную руду, характеризующуюся присутствием стибнита и реальгара. В распространяющейся вниз центральной части структуры содержится меньше серебра и больше меди. Округ этот сохраняет непрерывную продуктивность до необычайных глубин для руд такого типа; самый низкий горизонт находится здесь в настоящее время на 1340 *м* ниже наиболее высоко расположенных выходов на поверхность.

Введение

Добыча свинца и цинка. Еще 20 лет назад свинец добывался в месторождениях Центрального Перу в качестве малоценного побочного продукта, получавшегося при обогащении серебряных руд на нескольких небольших плавильных заводах. До постройки в 1928 г. печей для плавки свинца на плавильном заводе Орройо, принадлежащем корпорации Серро де Паско, весь свинец из руд и концентратов, добываемый из месторождений Серро де Паско, Морокоча и Касапалка, исключался из цикла плавильных операций при получении серебро- и золотосодержащей высокосортной меди. Точно так же терялся и цинк; но ввиду гибельного его влияния на процесс выплавки принимались меры к тому, чтобы свести к минимуму его присутствие в материале, поступающем для выплавки. Руды обрабатывались только в том случае, если они содержали рентабельное количество меди или серебра или обоих этих металлов. Успешные опыты с флотацией свинца и цинка на

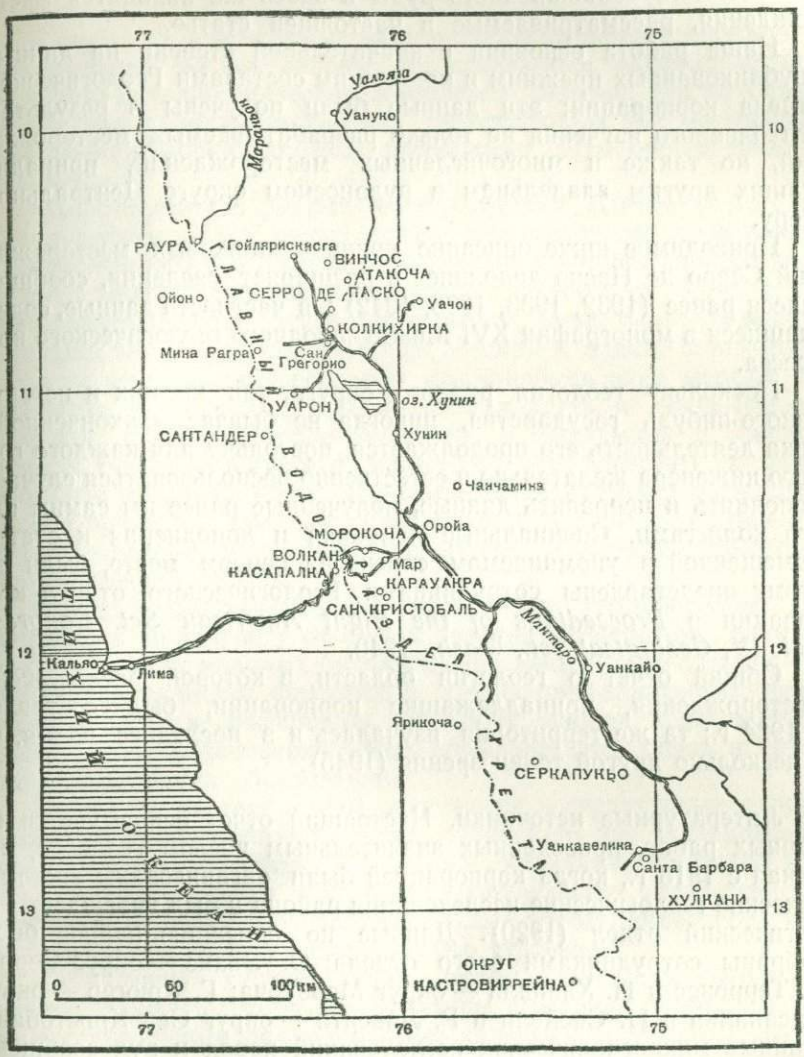
обогатительной фабрике в Касапалка, наряду с изменением различных экономических факторов, сделали рентабельным извлечение свинца, и значение этой фазы горного и плавильного дела со времени пуска свинцовых доменных печей все возрастает. Бóльшая часть получаемых концентратов цинка продавалась и поступала на плавильные и очистительные заводы США или Европы. В настоящее время действуют принадлежащий корпорации завод электролитического свинца (процесс Беттса) с суточной производительностью в 100 *т* и завод электролитического цинка с производительностью 100 *т* в месяц. Висмут, кадмий и индий получаются на этих заводах в качестве побочных продуктов.

С первых же дней своей деятельности в Перу (1901) корпорация Серро де Паско разведывала все возрастающие количества потенциально ценных запасов руд, относительно богатых как свинцом, так и цинком. Некоторые из этих руд могут обрабатываться с помощью стандартного флотационного метода, но обработка многих из них настолько сложна, что использование этих запасов оказывается практически невозможным. Огромное количество руд последнего типа было открыто в месторождении Серро де Паско в связи с поисками медных и серебряных руд. Меньшие запасы свинцово-цинковых руд, бóльшая часть которых поддается стандартной обработке, имеются в Морокоча, Касапалка, Сан Кристобаль, а также в менее разработанных участках в Хулкани и Раура.

Кроме этих месторождений, принадлежащих корпорации, имеются также залежи свинцово-серебряных или свинцово-цинково-серебряных руд, находящиеся во владении других компаний и расположенные в Волкан, Уарон, Колкихирка, Атакоча, Винчос, Серкапукьо, Карауакра и Кастровиррейна. Благодаря соглашениям, заключенным между компаниями, геологи, работающие в корпорации, хорошо знакомы с этими месторождениями; последние, хотя и обладают некоторыми характерными индивидуальными чертами, тем не менее по своему характеру в основном согласуются с общим генетическим типом рудопроявлений области; в наших выводах нами приняты во внимание все месторождения. Детальные описания даются только для месторождений, принадлежащих компании. На фиг. 42 показано местоположение главных свинцово-цинковых месторождений.

Литература. Обширная литература о рудах Перу, недавно собранная в ценной библиографии Я. Т. Зингевальда [1], мл., касается в основном центральной части нагорья Перу; именно здесь

[1] Литература по Перу приводится в *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, № 50 1943), 131—149.



Фиг. 42. Схематическая карта Центрального Перу. Главнейшие свинцово-цинковые участки обозначены прописным шрифтом.

была добыта бóльшая часть руды и здесь же находятся месторождения, рассматриваемые в настоящей статье.

Наша работа основана в значительной степени на данных, опубликованных прежним и настоящим составами Геологического отдела корпорации; эти данные были получены в результате углубленного изучения не только разрабатываемых месторождений, но также и многочисленных месторождений, принадлежащих другим владельцам в рудоносном округе Центрального Перу.

Приводимое ниже описание свинцово-цинковых месторождений Серро де Паско дополняет и расширяет сведения, сообщавшиеся ранее (1932, 1933, 1936, 1942) [1], в частности данные, содержащиеся в монографии XVI Международного геологического конгресса.

Поскольку геология рудного округа, так же как и история какого-нибудь государства, никогда не бывает «законченной», пока деятельность его продолжается, постольку для каждого горного инженера желательно и естественно воспользоваться случаем дополнить и исправить данные, полученные ранее им самим или его коллегами. Специальные поправки и дополнения к статье, помещенной в упоминаемом списке на первом месте, были поэтому представлены сотрудниками Геологического отдела корпорации в *Proceedings of the Eight American Sci. Congress,* Vol. **IV**, *Geological Sci., Wash.,* 1940.

Общий отчет о геологии области, в которой расположены месторождения, принадлежащие корпорации, был составлен в 1924 г.; та же территория изучалась и в последнее время, но с несколько другой точки зрения (1945).

Литературные источники. Настоящий отчет основывается на данных работ, проведенных значительным числом геологов, начиная с 1918 г., когда корпорацией были организованы систематические геологические исследования района и был учрежден Геологический отдел (1920). Данные по описанию района были собраны сотрудниками этого отдела: О. Эванс — округ Серро; А. Терронес и П. Хаапала — округ Морокоча; Г. Крюгер — округ Касапалка и Н. Снейвли и Р. Лаверти — округ Сан Кристобаль. Данные микроскопических исследований пород и руд сообщены Ц. Ласи. Окончательное редактирование и подготовка рисунков для настоящей статьи в большей своей части выполнены Ф. Крюгер, помощником главного геолога. Ответственные по подбору и обобщению данных — В. Уокер, постоянный геолог-консультант, Н. Мозес, главный геолог, и Л. Грейтон, геолог-консультант.

[1] См. литературу в конце этой статьи.

Региональные условия

Каждый из описываемых нами районов имеет сам по себе важное значение, но все районы представляются частями единого большого металлогенического комплекса; поэтому, для того чтобы получилась правильная картина интересующих нас месторождений свинцово-цинковых руд, необходимо дать обобщенный их обзор.

Многочисленные рудные месторождения Центрального Перу локализованы вдоль узкого пояса юго-восточного простирания, расположенного в основном к востоку от континентального водораздела. Месторождения эти различны по составу — они содержат золото, серебро, ртуть, медь, свинец, цинк, олово, вольфрам, ванадий, висмут, сурьму, мышьяк, кадмий и индий. В некоторых округах добывается в основном какой-нибудь один металл; так, например, в Санта Барбара добывается ртуть, в Мина Рагра — ванадий, в Сан Грегорио — висмут, в Чанчамина и Уачон — золото. Но в большинстве месторождений встречаются разнообразные металлы; успехи в области металлургии и расширение спроса привели к тому, что один металл за другим, особенно из группы серебра, меди, свинца и цинка, становился предметом промышленной добычи.

Породы, вмещающие месторождения, разнообразны. Они варьируют по возрасту от самых древних (повидимому, силурийских) до самых молодых (вплоть до третичных) и по составу — от метаморфизованных филлитов и крупнокристаллических изверженных пород до песчаников, глинистых сланцев, конгломератов, известняков, близповерхностных порфиров, лав, туфов и других пирокластических образований.

Таким же разнообразием отличаются и структурные условия в описываемых месторождениях. Одно и то же месторождение здесь может переходить из смятых и складчатых филлитов в ненарушенные порфиры и пологопадающие слабо нарушенные известняки. В других случаях вмещающие породы характеризуются простой или сложной однородностью строения.

Структурный характер самих рудных тел иногда может зависеть преимущественно от структуры вмещающих пород или от их состава; ярким примером этого являются плащеобразные залежи (манто), замещающие некоторые горизонты известняка. В других случаях рудное тело может испытывать лишь незначительные изменения при пересечении пород разной структуры или разного состава. В общем, доминирующим фактором в образовании жил и сложных штокверков является направляющая трещиноватость, а также избирательная способность к замещению определенных известняковых пластов и групп пластов известняка и избирательная проницаемость слоистых кластических пород.

Своеобразными по структуре являются крутые рудные трубы в Серро де Паско, проникающие в большое пиритовое тело несколько более раннего возраста.

Минеральный состав руд этой области чрезвычайно разнороден, как это видно по большому разнообразию добываемых здесь металлов. Гипогенные минералы здесь чрезвычайно разнообразны и варьируют от высокотемпературных окислов и вольфраматов до низкотемпературных сульфосолей и сульфидов. Там, где действовали в недавнем прошлом и продолжают действовать и в настоящее время интенсивные процессы водной и ледниковой эрозии, гипогенные минералы встречаются обычно у выходов руд на поверхность. Но это не распространяется на месторождения, находящиеся на обширных интенсивно дислоцированных площадях, выровненных поверхностью пологого рельефа. Такие «древние» эрозионные поверхности могли образоваться под влиянием медленного понижения, иногда приводящего к почти полному выравниванию, до положения, близкого к базису эрозии. В тропических широтах при низких высотных отметках наличие поверхности такого происхождения создает условия, весьма благоприятные для глубокого выветривания. Постпенепленовое значительное поднятие объясняет (на первый взгляд аномальное) явление интенсивного окисления и супергенного сульфидного обогащения до глубины нескольких сот метров ниже поверхности, на высотах 3150—4500 *м* и более, в условиях близости к экватору, при климатических условиях, не благоприятствующих развитию этих поверхностных процессов. В этих случаях глубокое окисление и обогащение почти всегда приурочены к участкам, где «перезрелая» поверхность эрозии осталась еще почти нетронутой. Эти факты подтверждают многочисленные физико-географические и тектонические указания на то, что обычно упоминаемые процессы складкообразования и поднятия Анд не представляли единого и единовременного эпизода, а слагались из ряда последовательных событий, отделенных друг от друга длительными интервалами относительного покоя и действия интенсивной эрозии. Некоторые другие случаи глубокого окисления жил, возможно, связаны с ненормальными условиями режима грунтовых вод при сильно расчлененном рельефе.

Несмотря на всю разнородность характера боковых пород, их возраста и структуры, а также структуры руды и минералогического состава, все месторождения родственны между собой и связаны с общим магматическим источником.

Во многих рудных округах встречаются интрузивные тела, главным образом в виде небольших штоков кварцево-монцонитового порфира или пород близкого состава. Местами руды расположены по периферии порфировых тел. Более того, эта перимагматическая локализация вокруг интрузивных центров сопрово-

ждается некоторыми изменениями минералогического состава и текстуры руды. Несмотря на то, что вскрывающиеся вблизи руды порфиры, очевидно, были уже раскристаллизованы и разбиты трещинами к началу рудообразования или проявления главной части его, можно думать, что рудообразующие растворы поднимались из более глубоких и еще незастывших частей того же магматического источника. Наблюдаемые части интрузивных тел, таким образом, представляют купола крупных массивов, связанные же с ними руды относятся к акробатолитовой группе, согласно классификации В. Эммонса.

Там, где неизвестны интрузивные порфиры благоприятного промежуточного состава, руды по своей природе либо сходны с периферическими рудопроявлениями, развитыми в других местах вокруг интрузивов, либо по своей сложности являются аналогами низкотемпературных представителей гипогенного ряда. Весьма правдоподобным представляется предположение, что эти руды в основном того же происхождения, что и руды, ассоциированные с известными нам штоками но что они представляют собой самую верхнюю зону пространственной зональной структуры, располагающейся концентрически по отношению к интрузивным телам; если бы эрозионный срез опустился глубже, то здесь также можно было бы наблюдать выход порфиров на поверхность. В таких участках месторождения относятся к криптобатолитовой группе Эммонса.

На основании состава, текстуры, положения в зональной структуре и генетического типа руды этой области Центрального Перу могут быть расположены, согласно концепции Линдгрена — Грейтона, в генетический ряд — от единичных пирометасоматических месторождений до эпитермальных и даже телетермальных. Умеренно мезотермальные и типичные лептотермальные руды здесь преобладают. Структурные и физиографические данные, а также текстурная и минералого-химическая характеристика месторождений указывают на то, что наблюдаемые руды образовались под незначительной толщей эродированного в настоящее время покрова, как этого и можно было ожидать в области с такими молодыми рудами. Рудообразующие растворы при своем движении вверх к поверхности встречали все ускоряющееся изменение физических условий. Многие руды обнаруживают телескопированность, в некоторых случаях настолько значительную, что они приближаются к ксенотермальному[1] классу Баддингтона.

Значительная добыча серебра, наряду с наличием крупных месторождений богатых энаргитовых руд, явилась причиной того, что эта область Центрального Перу была определена как медно-

[1] *Econ. Geol.*, 30 (1935), 205—222.

серебряная металлогеническая провинция, характеризующаяся присутствием мышьяка. Углубленное изучение месторождений этой области в целом, включающее микроскопические и химические исследования, показало, что такое определение далеко не отражает действительного положения вещей. В общем и целом преобладают комплексные руды. Ко времени истощения рудных запасов в области может оказаться, что добыча свинца и цинка каждого в отдельности сравняется по весу с добычей меди и по ценности — с добычей серебра. Мышьяк имеется в значительных количествах, но не превышающих количества сурьмы и висмута. Большое число месторождений возникло в обстановке, благоприятной для развития сульфосолей, и энаргит является лишь одним из многочисленных разнообразных видов сульфосолей, встречающихся в этой области.

Ввиду разнообразия условий залегания руд нельзя точно определить их возраст. Трудно допустить, чтобы руды во всех округах образовались в одно и то же время. Совершенно так же, как наблюдается определенная последовательность в отложении нескольких рудных минералов, можно различить в одном месторождении последовательность отложения минеральных групп, образующих соответствующие рудные тела, более или менее различающиеся по своему характеру, хотя и являющиеся, несомненно, «детьми одного и того же родителя». Здесь мы имеем случай металлогенической дифференциации, аналогичной магматической дифференциации, в результате которой из единой магмы получаются различные породы. Точно так же отдельные интрузии похожих друг на друга порфиров, к которым обычно приурочены выработки, по всей вероятности, не во всех случаях внедрялись строго в одно и то же время. Таким образом, в различных пунктах должны быть разные нулевые точки времени в этой цепи процессов, влияющих на рудообразование. Но придавать слишком большое значение указанным несоответствиям во времени значило бы за случайными моментами не видеть существенного. За одним возможным, хотя и маловероятным исключением, состоящим в том, что месторождения ртути Уанкавелика принадлежат к несколько более позднему времени, считают, что все руды этой области Центрального Перу относятся к одной и той же, точно установленной металлогенической эпохе, что они возникли под действием одних и тех же причин и сформировались приблизительно в одно и то же время, насколько это допускали сложный характер магматического внедрения и гипогенное отложение руд в разнородных местных условиях.

Как нами уже было указано ранее, ни на севере, ни на юге не наблюдается резких границ металлогенической области, заключающей свинцовые и цинковые месторождения. Да и вообще здесь трудно провести какие-либо ограничения: на значительном

протяжении и к северу и к югу от соответствующих границ района, показанных на фиг. 42, вдоль высокогорных Анд продолжается узкий металлоносный пояс с рудными месторождениями того же характера. По мере накопления точных данных современного углубленного изучения выявляется ясная картина поразительного единства не только металлогении, но также и орогении, петрогении и геоморфологии большого Андского пояса.

Здесь, конечно, не место заниматься критикой положений, высказываемых в геологической литературе по Андам, в которых настолько подчеркиваются местные различия и контрасты, что Анды могут казаться во многих отношениях, за исключением их линейного простирания и высоты, случайным соединением отдельных разнородных частей. Следует, однако, указать на недавно опубликованную работу Тернора и Уелкера [1]. Эта работа представляет собой одну из серии работ, охватывающих результаты почти 20-летних геологических исследований рудных месторождений Боливии; она включает описание и той части Боливийской металлоносной зоны, которая заходит на территорию Перу. Независимо от разнообразия местных условий и местных рудопроявлений, авторы доказывают наличие здесь тесных основных взаимосвязей и единства причин и процессов на протяжении 240 *км*.

Эта часть Боливии обычно рассматривается как оловянно-вольфрамовая металлогеническая провинция, а потому, по мнению многих, ее не следует смешивать с расположенной дальше к югу от нее оловянно-серебряной провинцией. Предполагается также, что она отличается от медно-серебряных и медных провинций, расположенных еще далее к югу в Чили, и от медно-серебряной провинции Центрального Перу. Авторы настоящей статьи считают, что все эти области представляют несколько различающиеся между собою, но неотделимые части единого и слитного металлогенического целого, общего по условиям и времени возникновения и составляющего одну из самых больших и интересных металлоносных областей в мире.

Такова обширная область, протягивающаяся вдоль континента, в которой, подобно созвездиям близ млечного пути, находятся интересующие нас свинцовые и цинковые месторождения.

Округ Серро де Паско

История. Пользующиеся мировой известностью месторождения Серро де Паско на протяжении столетий дали немало тонн серебра из окисленных покровов или железных шляп (местное название серебросодержащих железных шляп — «пакос» «pacos»).

[1] Terneaure a. Welker, *Econ. Geol.*, 42 (1947), 595—625.

В настоящее время на поверхности и вблизи нее известны выходы богатых церусситовых руд, и весьма вероятно, что такие же участки были известны и в прошлом; поэтому не исключена возможность, что металлический свинец получался из этих легко плавящихся руд. К числу доказательств существования местного плавильного производства относится находка нескольких медных пушечных ядер, а также медной и свинцовой картечи, обнаруженных в донной грязи небольшого пруда близ городка Серро де Паско. Ядра относятся, вероятно, ко времени войны между Перу и Чили в 1871 г.; возможно, что во время этой войны свинец для мушкетных пуль получался здесь же на месте.

Бóльшая часть рудничных работ под зоной шляп проведена уже действующей сейчас компанией. В ходе этих работ, имевших своей целью вскрытие и добычу медных и серебряных руд, все в большем количестве встречались свинцовые и цинковые руды. Со временем было признано, что руды эти являются потенциальным активом на будущее время. Однако специального изучения свинца и цинка или исследований для определения размеров, формы и среднего количества найденных рудных тел здесь не производилось. Эта задержка активного развития разведок была вызвана несколькими причинами; прежде всего сравнительно низкими ценами на свинец и цинк на протяжении 1920—1930 гг.; затем — тесных срастаний свинцовых и цинковых минералов в руде, с сильным преобладанием цинка, так как металлургические установки в районе были рассчитаны только на обработку свинца и связанного с ним серебра; с другой стороны, опыты по обогащению показали, что цинковые концентраты являются низкопроцентными и очень богаты железом, что создает как металлургическую, так и экономическую проблему; наконец, отрицательным моментом являлось быстрое окисление руды при проведении подготовительных выработок, ухудшающее вентиляцию вследствие нагревания воздуха и понижения содержания в нем кислорода и в то же время оказывающее вредное влияние на обогащение металлов при селективной флотации.

В 1918 г., а затем вторично в 1925 г. были сделаны подсчеты предполагаемых запасов свинцово-цинковых руд в округе.

Эти подсчеты стимулировали попытки преодолеть упомянутые выше трудности. В Ла Оройа была построена флотационная фабрика, причем были получены достаточно перспективные результаты для того, чтобы окупились проектировка и постройка в Серро концентратора Парагша. Постройка фабрики была закончена во время второй мировой войны, но так как спрос на медь в это время превышал спрос на цинк, то корпорация, выполняя требования союзников, перевела работу фабрики на обогащение низкопроцентных медных руд. Недавно она была снова восстановлена с целью использования ее по первоначальному

назначению. В Ла Оройа производится свинцовый концентрат, здесь же он плавится и рафинируется. Ввиду улучшившихся для цинка в настоящее время условий рынка цинковый концентрат отправляется для обработки за границу. Как только явятся благоприятные для этого экономические и финансовые условия, в Ла Оройа будет построен цинковый рафинировочный завод.

Последние подсчеты имеющихся запасов свинца и цинка, сделанные в 1940 г., дали цифру, превышающую 17 000 000 *т*.

Добыча металла из месторождения Серро де Паско с 1928 по 1947 г. включительно (в *кг*) приведена в табл. 12

Таблица 12

Годы	Медь	Серебро	Золото	Свинец	Цинк
1928	17 022 780	145 299,4	491,02	110 000	—
1929	21 715 320	188 371,6	701,38	88 000	—
1930	18 725 140	108 838,5	687,77	341 000	—
1931	21 304 810	91 536,5	678,70	—	—
1932	15 001 230	124 527,4	476,28	—	—
1933	13 004 040	107 330,3	409,37	—	—
1934	11 347 980	100 801,3	461,82	—	—
1935	10 715 130	181 893,6	546,30	—	—
1936	14 358 880	156 475,0	667,36	—	—
1937	16 749 940	88 219,5	619,45	3 361 000	—
1938	21 352 380	134 259,9	676,43	6 187 000	—
1939	16 039 050	107 262,2	639,66	4 382 000	—
1940	16 174 060	96 775,6	618,60	3 960 000	—
1941	14 408 450	72 198,9	577,21	3 467 000	—
1942	15 128 690	75 189,9	675,30	3 060 000	—
1943	15 010 920	77 265,1	682,38	2 501 000	—
1944	14 932 060	61 632,9	760,91	1 730 000	—
1945	14 230 900	63 203,5	762,33	1 386 000	—
1946	11 211 750	61 559,2	672,18	3 110 000	6 406 000
1947	7 993 480	49 153,2	455,59	5 497 000	8 396 300

Геологическое строение округа. В общем геологическом строении округа Серро преобладают две структуры. Каждая из них оказала сильное влияние на рудоотложение. Первой является крупный сброс в восточной части округа, прослеживающийся на протяжении нескольких километров в северо-западном направлении. Вследствие этого сброса филлиты формации Эксцельзиор, переслаивающиеся с кварцитами (силур?) западного блока, контактируют с восточным блоком, слагающимся известняками

формации Париа (триас и юра), подстилаемыми красными глинистыми сланцами Миту и кварцитовыми конгломератами (карбон?), а также филлитами Эксцельзиор.

Вторая крупная структура — слегка овальный кратер взрыва, или диатрема, около 1,5 км в диаметре. Восточный его край касается сброса, который определенно является более ранним и, несомненно, сыграл роль в локализации эксплозивного рельефа в третичный период. Это жерло вулкана в настоящее время занято материалом трех видов. Наиболее древними являются пирокластические, местами слоистые породы-агломераты, Румиаллана, состоящие в большей своей части из обломков формации Эксцельзиор с примесью обломков кварцево-монцонитового порфира. Затем следующей по возрасту является обломочная порода Лурда, представляющая кварцево-монцонитовую массу, в которую погружены обильные обломки пород формации Эксцельзиор; наконец, наиболее молодыми являются неправильной формы интрузивные массы и дайки того же кварцево-монцонитового порфира с обильными включениями. Эрозия удалила все следы поверхностных вулканических сооружений, которые некогда, несомненно, возвышались над жерлом.

Основная минерализация округа находится в изгибе между восточной и юго-восточной стенкой жерла и участком стыка этой стенки со сбросом. Самым древним и наиболее крупным продуктом минерализационной деятельности здесь является огромная серповидная линза пирита, расположенная вдоль изгиба. Поскольку это пиритовое тело вмещает в себе почти все свинцово-цинковые руды округа, оно заслуживает особого внимания. На поверхности эта пиритовая масса имеет длину около 1800 м при максимальной ширине около 300 м; книзу она становится уже и короче. На горизонте 640 м она представляет собой довольно компактное тело, но далее книзу до самого глубокого горизонта (в настоящее время 750 м) наблюдается все возрастающая ее тенденция распадаться на отдельные удлиненные линзы или корневидные зубцы.

Пиритовая масса образовалась под влиянием мощного процесса замещения, действовавшего не только на материал, заполняющий жерло, но также и на примыкающие породы к востоку от сброса (особенно на известняк). Контакт между жерлом и восточным блоком сброса полностью стерся, и о его положении сейчас можно судить только предположительно. Пиритовое тело заместило вмещающие породы в разной степени и на различных расстояниях от контакта. Поэтому очертания его неправильны, особенно в восточной части. Пласты известняка, которые в настоящее время находятся в восточном контакте пиритового тела, залегают в западном крыле открытой антиклинальной складки, погружающейся в северном направлении. Самые нижние слои

известняка, повидимому, оказались особенно подверженными замещению сфалеритом и галенитом, а также пиритом; тем самым было обусловлено расширение сульфидной массы в восточном направлении в виде падающей к северу лопасти, пересекающей горизонт 425 *м* месторождения приблизительно на половине протяжения пиритового полумесяца. В самом широком своем месте пиритовое тело, по всей вероятности, на три четверти образовано за счет известняка. Ниже известковой формации ширина пиритового тела заметно уменьшается вследствие сокращения восточной его границы; северная и южная оконечности погружаются внутрь, между тем как западная граница сохраняет крутое падение на запад. В этой более глубоко залегающей области, ниже известняка, мы видим, что бóльшая часть сульфидов заместила породы канала вулкана и, кроме того, прилегающую узкую зону глинистых сланцев и конгломератов, сильно раздробленных во время эруптивного образования жерла.

Растворы, отложившие сульфидное тело и его важные в экономическом отношении составные части, происходили, вероятно, из той же магматической камеры, что и изверженный материал, сложивший жерло вулкана и поглотивший обломки пород, которые в него обрушились. Какова же причина формирования пиритового тела замещения в виде концентрированной массы вместо образования рассеянного, но более однородного рудоотложения по всему профилю канала вулкана? Частичным ответом на этот вопрос может служить развитие проницаемых каналов вследствие второстепенных движений, типа оползания, вблизи или вдоль тангенциального сброса. Трещины этого общего типа встречаются особенно часто в филлитовой стенке вдоль юго-восточной окраины жерла; они локализовали поток растворов, что вызвало образование важной группы медных жил Эксцельзиор. Весьма вероятно также, что сочетание брекчирования жерлового выполнения и чрезвычайно высокой проницаемости, наблюдающейся на восточной стороне, обусловленных сбросом, было достаточно для того, чтобы локализовать поток самых ранних сульфидообразующих растворов вдоль восточного края жерла; подобное развитие крупных месторождений именно в краевых частях диатрем представляет нередкое явление. Очевидно, что в данном случае легкая замещаемость известняка обусловила увеличение размеров и значения пиритового тела, но только в отношении горизонтального распространения рудной массы, которая и без того имела бы очень значительные размеры, как это видно там, где исчезает известняк.

Хотя пирит и является преобладающим минералом в большом сульфидном полумесяце, он все же не представляет собой единственной составной его части. Исследовния под микроскопом показали, что тонкая примесь и включения пирротина широко

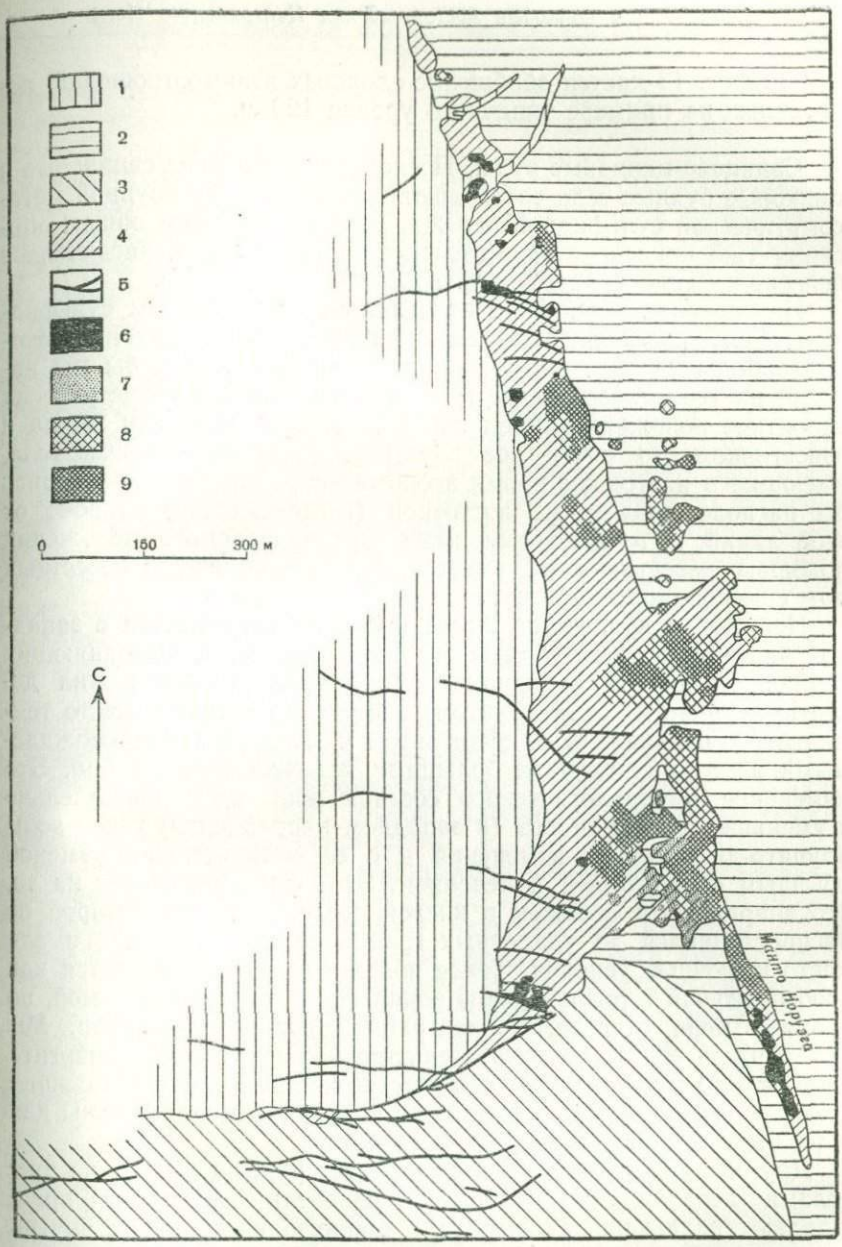
распространены в пирите центральной части рудного тела. На глубине находится несколько крутопадающих труб пирротина, имеющих овальную форму с диаметрами, достигающими 60 и даже 180 *м*. Трубы эти выклиниваются кверху, и ни одной такой трубы не было обнаружено выше горизонта 180 *м*. В них присутствует сфалерит в количествах, обусловливающих содержание цинка до 15%, а также встречаются подчиненные пирит, марказит и очень небольшое количество касситерита; в периферических частях пирротин обычно уступает место пористой смеси марказита и пирита и, наконец, нормальному пириту.

Широтные жилы секут западную часть пиритового тела и проникают на некоторую глубину в породы, слагающие канал вулкана, причем местами они содержат в себе энаргит и люцонит, но, как правило, содержание меди и мощность этих жил уменьшаются в восточной части пиритового тела. Крутопадающие, богатые энаргитом трубы встречаются также в западной части пиритового тела; в некоторых случаях эти трубы, повидимому, связаны изгибами энаргитовой жилы.

В верхней восточной части месторождения пиритовое тело включает в себя крупные трубообразные тела пористой текстуры, состоящие из смеси сульфидов и обломков не вполне замещенной, но сильно измененной боковой породы. Значительные части этих тел содержат большие количества серебра в виде сульфосолей и аргентита.

В местах, где предполагается положение контакта между породами канала вулкана и осадочными породами, имеются большие пустоты и брекчии обрушения пирита и сфалерита, покрытые корками галенита и грейтонита, а также минералами, богатыми серебром, висмутом и медью. С этими пустотами ассоциируется на глубине до 700 *м* даже реальгар. Это исключительная проницаемость, вероятно, обусловленная преобладанием процесса растворения над процессом отложения, в ограниченной части глубоких горизонтов, повидимому, привела к образованию каналов, по которым могли проникнуть растворы, отложившие основную массу свинцовых и серебряных руд в верхних горизонтах.

Жильные минералы в этом пиритовом теле играют подчиненную роль. Кое-где здесь встречаются небольшие пятна и обломки красного или серого роговика, наряду с этим встречается и нормальный кварц и ассоциации с подчиненными анкеритом и серицитом. Алунит довольно обычен в пиритовом теле и наравне с каолиновым минералом (чаще всего диккитом) наиболее обилен в полосе изменения, непосредственно примыкающей с запада к энаргитовым жилам в породах жерла. Интересна наблюдаемая на глубоких горизонтах ассоциация алунита, самородной серы и висмутина в виде выполнения жеод в энаргит-люцонит-пиритовых трубах внутри главного пиритового тела.



Фиг. 43. Карта горизонта 400 рудника Серро де Паско, показывающая распределение пород и руд.

1—пирокластические и интрузивные породы; *2*—известняк Пария; *3*—сланцы Эксцельзиор; *4*—пиритовое тело; *5*—медно-серебряные жилы; *6*—медно-серебряные рудные тела; *7*—серебряные рудные тела; *8*—неоцененная свинцово-цинковая минерализация; *9*—оцененная свинцово-цинковая минерализация.

На фиг. 43 дается обобщение сложных взаимоотношений, показанных на примере типичного уровня 120 *м*.

Свинцово-цинковые руды. Поскольку важнейшие свинцовые и цинковые рудные тела составляют отдельные части крупной метасоматической сульфидной залежи, то в предыдущем общем описании уже приведена значительная часть сведений, касающихся непосредственно свинцово-цинковых руд.

Интенсивное замещение исходной породы главным сульфидным телом усложняет выявление контролирующего влияния боковой породы на отложение свинца и цинка. Но если бы мы нанесли на геологическую карту каждого горизонта геометрически вероятное положение линии контакта между породами жерла и известняком, то почти все известные свинцово-цинковые тела, имеющие в настоящее время экономическое значение, оказались бы расположенными на восточной (известняковой) стороне от этой линии. В то же время ниже предполагаемого положения подошвы известняка не имеется больших количеств известных нам свинцово-цинковых руд.

Небольшие количества цинка и свинца встречаются в западной части широтных медных залежей в породах, выполняющих жерло. Когда эта западная граница продуктивности жил достигнута, энаргит (с люцонитом) постепенно уступает место теннантиту с подчиненными сфалеритом и галенитом, сопровождаемыми во многих случаях большими количествами серебра. Это изменение минералогического состава жил идет параллельно с уменьшением мощности (в западном направлении) узкой зоны алунито-диккитового изменения и с ее окончательной заменой обычным серицитовым изменением. Этот факт указывает на то, что энаргит был отложен в кислой среде, характер которой не распространялся до удаленных границ залежи, где уже имели место щелочные условия. Такое положение рассматривается как особый случай горизонтальной зональности, обусловливаемой, по крайней мере отчасти, концентрацией водородных ионов. Мы имеем здесь еще одно доказательство несовместимости энаргита и сфалерита в одном и том же участке жилы. Количества свинца и цинка, имеющиеся в этих западных кромках, недостаточны для того, чтобы оправдывалась их разработка.

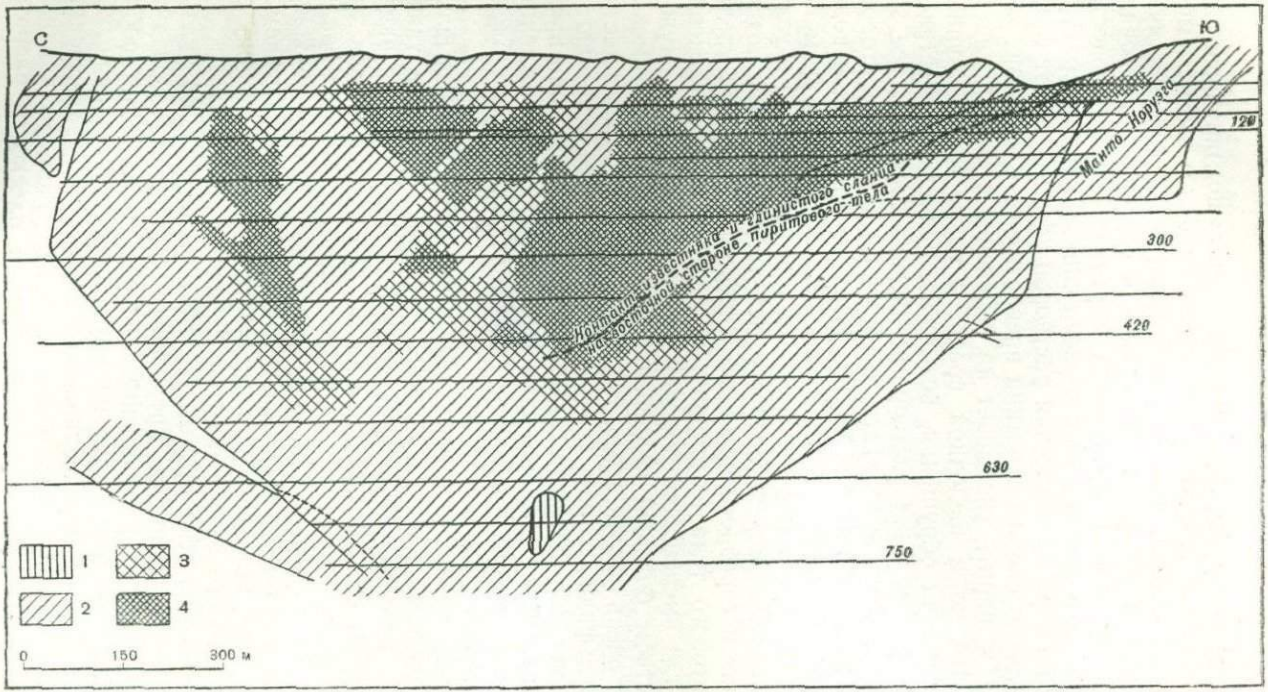
Другой пример нахождения цинковых руд, возможно, за пределами первоначальной области развития известняка представляют включения сфалерита в пирротиновых трубах внутри пиритового тела; эти трубы расположены, повидимому, слишком далеко к западу, чтобы они могли встретить на своем пути известняк. В них содержание цинка составляет максимально 15%, но в среднем оно не достигает предела рентабельности ввиду очень незначительных количеств сопутствующих свинца и серебра.

Эти пирротиновые трубы, содержащие местами подчиненный касситерит, предположительно представляют наиболее высокотемпературные образования, или «горячие центры». В них частично осадился цинк, в то время как свинец и серебро мигрировали далее, что обусловило проявление вертикальной зональности, определяющейся в значительной степени снижением температуры и давления по мере продвижения растворов кверху. Но тот факт, что значительные блоки пирротина превратились в марказит или в марказит и пирит, указывает на изменение в кислой или во всяком случае не в щелочной среде; в то же время крупные пустоты и брекчии обрушения, возможно, являются следствием избыточного растворения растворами кислого состава [1]; все эти данные дают основание полагать, что местами внутри пиритового тела, так же как и в жилах внутри жерла, концентрация водородных ионов изменялась как в пространстве, так и во времени, и что цинк сфалерита мог образоваться или сохраниться в условиях несколько большей кислотности, чем та, при которой возникают галенит и серебросодержащие минералы. Заметное увеличение пиритового тела в ширину, вследствие распространения к востоку, где вмещающей породой является известняк, служит доказательством большей подверженности известняка замещению. Пирит очень обилен здесь, так же как и в остальных частях большого сульфидного тела. В этой восточной части встречаются крупные блоки, обогащенные галенитом и сфалеритом; они представляют главные свинцово-цинковые тела месторождения. С окружающей пиритовой рудой галенито-сфалеритовые блоки связаны постепенными переходами.

На фиг. 44 приводится меридиональный разрез, показывающий распределение цинка и свинца, а также серебра в таких количествах, которые позволяют включить их в общий запас свинца и цинка. Из этого разреза видно, что здесь имеются три главные залежи свинцово-цинковых руд: круто падающая овальная труба на севере, большой опрокинутый овальный конус в центре и полого погружающееся тело на юге — так называемое «манто Норуэга», которое распространяется далеко в сторону от главного пиритового тела в некоторые пласты известняка.

Для каждого из этих рудных тел контуры на фиг. 44 указывают положение принятых предельных содержаний. Следует иметь в виду, что этот обобщенный разрез представляет собой сумму накладывающихся друг на друга проекций различных и независимых друг от друга свинцово-цинковых тел, залегающих в восточной половине пиритового массива; размеры залежей свинцово-цинковых руд, перпендикулярно к плоскости разреза,

[1] Ср. подобные пустоты, сохранившиеся в нетронутом виде или осевшие в сильно ангидритизированном известняке в Морокоча.



Фиг. 44. Спроектированный разрез пиритового тела Серро де Паско, показывающий распределение пород и свинцово-цинковых руд.

1—пирокластические и интрузивные породы; *2*—пиритовое тело;
3—неоцененная, *4*—оцененная } свинцово-цинковая минерализация.

варьируют. Общее совпадение участка локализации свинцово-цинковых залежей с северной и южной границами пиритового тела совершенно очевидно. Последнее резко расширяется вверх от какого-то «корня» или вводного канала, до настоящего времени еще не разведанного. Свинцово-цинковые руды, находящиеся в верхней части этого «растекшегося» тела, залегают в участке, который воспроизводит ту же форму, расширяющуюся кверху от уже известного дна. При этом очень четко проявлено геометрическое выражение зональности с переходом от убогих пиритовых руд до свинцовых и цинковых.

Погружающаяся в северном направлении южная граница основного или центрального свинцово-цинкового тела, как уже нами указывалось, приблизительно совпадает с почвой известняка. Этого нельзя сказать про более круто падающую в южном направлении северную границу, так же как и про трубу, расположенную еще дальше на север. Поэтому нелогичным было бы настаивать на том, что известняк является единственным фактором, контролирующим отложение свинца и цинка. Тем не менее имеющиеся данные указывают на то, что без известняка здесь не было бы сколько-нибудь значительного отложения ни цинка, ни свинца на горизонтах, залегающих ниже современной эрозионной поверхности.

Интересно обсудить, что произошло бы, если известняка не было бы вообще. В этом случае растворы либо могли бы поднять заключающееся в них количество свинца и цинка на поверхность земли и рассеять его с отложениями горячих источников, либо могли смешаться с грунтовыми водами. Однако возможно, что непрерывное снижение температуры и давления при поднятии растворов привело бы к большому пересыщению и ускоренному отложению свинца и цинка, независимо от характера вмещающих пород или других факторов, ранее достижения растворами земной поверхности. То, что существующий известняк легко поддавался замещению сульфидами, и притом преимущественно сфалеритом, галенитом и серебросодержащими минералами, не вызывает сомнений; интересно только знать, как это происходило и почему. Наглядным примером последствий контролирующей роли известняка является рудное тело Каяк, вмещающее почти одну пятую часть всех подсчитанных запасов цинка и свинца. Это рудное тело залегает на контакте между сульфидным телом и самыми нижними пластами известняка.

Имеются указания, к сожалению, довольно неопределенные, на наличие еще одного фактора, оказавшего влияние на положение и формы свинцово-цинковых рудных тел. Существует предположение, что бóльшая часть пирита, а, может быть, также и

пирротина, в большом сульфидном «полумесяце» отложилась до образования широтной трещиноватости, к которой затем были приурочены многочисленные энаргитовые жилы. Имеются данные в пользу того, что некоторые из энаргитовых трубок (возможно, что это относится и ко всем остальным) в западной части пиритового тела связаны в структурном отношении с той или иной из этих жил. Менее убедительны данные о том, что рудные тела с высоким содержанием серебра, встречающиеся в центральной и восточной частях сульфидного «полумесяца» в виде более или менее трубообразных тел, также получали питание из жил, идущих в широтном направлении. Возможно, что дальнейшее изучение и все развивающиеся исследования вскроют такую же взаимосвязь в отношении некоторых свинцово-цинковых рудных тел; что касается трубы, расположенной в северном конце пиритового тела, то в отношении ее это может оказаться правильным, поскольку бо́льшая часть жил в этой северной области, как и упомянутая труба, имеет крутое падение.

Парагенезис многочисленных минералов свинцово-цинковых рудных тел в Серро де Паско весьма сложен.

Сфалерит появился после большей части пирита, и его появление отчасти совпадает с отложением пирротина. Он обнаруживает ясно выраженную зональность; окраска его железистого ядра варьирует от черной до темной красновато-бурой; это ядро переходит по направлению к периферии в светлый бесцветный сфалерит, бедный железом. Местами, там, где имеется только ранняя железистая разновидность, содержание железа превышает 10%; эту разновидность правильно определяют как марматит; но обычно содержание железа колеблется в пределах 5—8%. При обогащении руды встретились затруднения металлургического характера вследствие того, что сфалерит подвержен замещению мельчайшими кристаллами позднего пирита и марказита, которые не поддаются освобождению посредством мелкого размола.

Галенит большей частью отлагался позднее сфалерита, но иногда и одновременно с ним. Ранний галенит часто ассоциируется с арсенопиритом, а поздний галенит содержит многочисленные мелкие включения пирита и марказита.

Серебро в свинцово-цинковых рудах распределяется неравномерно, но в среднем количество его достигает около 110 *г* на тонну валовой продукции руды. Однако разветвляющиеся трубообразные серебросодержащие структуры в свинцово-цинковых рудных телах содержат более 2800 *г/т* серебра в теннантите, аргентите, полибазите и арамайоите, которые ассоциируют с поздними пиритом и марказитом и замещают все более ранние сульфиды.

В свинцово-цинковых рудных телах установлены следующие гипогенные минералы:

Пирит разных возрастов	Полибазит
Пирротин	Аргентит
Касситерит	Гематит
Арсенопирит	Полианит
Сфалерит	Реальгар
Марказит	Кварц
Галенит	Серицит
Бурнонит	Алунит
Гратонит	Анкерит
Баумгауерит	Цуниит
Теннантит	Эпидот-цоизит
Халькопирит	Пумпеллиит
Эмплектит	Диккит
Арамайоит	Галлуазит

Для практических целей все подсчитанные запасы подразделяются на две категории — так называемые высокопроцентные и низкопроцентные запасы. Это разделение основывается на установлении минимальной общей величины содержания извлекаемого металла на тонну или нижнего предела для каждого класса. Относительное положение низкопроцентных и высокопроцентных руд показано на фиг. 44. Как видно из рисунка, положение разделяющей границы приблизительно верно для нижней части главного центрального участка, но выше картина осложняется многочисленными перекрытиями проектирующихся тел и определение местонахождения всех низкопроцентных руд фактически становится невозможным. Можно только сказать, что почти всюду низкопроцентные запасы расположены на периферии высокопроцентных.

Ясно, что чем ниже принятая средняя величина между низшим и высшим пределами содержаний, тем меньше будут колебания содержаний низкопроцентной категории. В высокопроцентных рудных телах процентное содержание трех главных металлов колеблется неравномерно и изменяется уже через 30 *см* и чаще. На больших расстояниях — скажем, в шестиметровых блоках — наблюдается тенденция к однородности, хотя, конечно, со снижением содержания по мере приближения к границе, охватывающей низкопроцентные категории.

В высокопроцентных рудах, в целом, наблюдается правильное, идущее в вертикальном направлении изменение количеств

каждого главного металла, причем количество каждого из них меняется независимо от количества других.

В общем, содержание высокопроцентного цинка снижается в направлéнии к поверхности, в то время как содержание свинца в этом направлении возрастает, а количество серебра остаётся приблизительно одинаковым. Весовое отношение свинца к цинку в обеих категориях на различных горизонтах следующее:

Между горизонтами, *м*	Отношение свинец : цинк
90—112	0,72
150—180	0,44
240—300	0,43
360—420	0,31

Ввиду того что участки с бóльшим, чем среднее, содержанием серебра распределены внутри свинцово-цинковых тел в виде отдельных пятен, цифры содержания серебра менее значительны. Данные анализа руды в нисходящем порядке горизонтов для высококачественной руды приводятся ниже:

Между горизонтами, *м*	Среднее содержание		
	свинца, %	цинка, %	серебра, *г/т*
90—112	12,0	16,9	143,6
150—180	8,0	18,2	138,9
240—300	7,8	18,1	153,1
360—420	6,5	21,0	87,8

Медь является второстепенной составной частью всех свинцово-цинковых руд: ее содержание в них составляет около 0,15%. Бóльшая часть серебра содержится в богатых медью сульфосолях, главным образом в теннантите. Ввиду крайне незначительного содержания меди неэкономично снова обрабатывать исходный флотационный продукт, содержащий извлекаемые свинец и медь и бóльшую часть серебра. Очень немного серебра содержится в цинковом концентрате. Распределение (в порядке нисходящих горизонтов) подсчитанных запасов высококачественной категории приводится ниже:

Между горизонтами, *м*	Вычисленный процент от общего	Вычисленный процент от общего на каждые 30 *м* по вертикали
От поверхности до 90	2,6	0,9
90—120	15,7	10,5
120—150	12,8	12,8
150—180	14,5	14,5
180—240	26,9	13,5
240—300	16,6	8,3
300—360	9,6	4,8
360—420	1,3	0,7

Действие окисления преобладает почти на всей верхней поверхности большого пиритового тела. Эта особенность является одной из наиболее поразительных и важных черт многих месторождений Анд, в которых окисление произошло еще до их поднятия и где сохранилась в основном древняя поверхность пенеплена. Район Серро де Паско лежит посреди широкой, немного холмистой равнины, над которой местами возвышаются невысокие волнистые горы. Ввиду того что высокогорные участки находятся за много километров отсюда, оледенение в данной области было слабым. Небольшие промоины и завалы моренного материала обусловили местами возникновение неглубоких ледниковых озер, но в общих чертах ледниковая эрозия лишь немного сгладила ранее приподнятую поверхность. Резкие и глубокие V-образные долины с очень крутым падением характерны для активно врезывающихся истоков реки Уальяга. Они обрывисто заканчиваются у самых краев минерализированной зоны с севера и востока и таким образом воздействуют на нее умеренным понижением водного уровня, который до их непосредственного приближения, по всей вероятности, затоплял бóльшую часть окисленной зоны со времени оледенения.

Вероятно, доледниковая зона окисления над пиритовыми телами претерпела лишь незначительное уменьшение мощности от двигающегося льда, но вследствие неровности основания зоны мощность ее резко варьирует. На большом протяжении центральной и южной частей она достигает примерно 90-го горизонта. По направлению к северу свежий или слабо обогащенный массивный пирит и заключенное в нем энаргито-люцонитовое трубообразное тело достигают поверхности и несут ледниковые штрихи под тонким покровом валунной ледниковой глины.

Значительная часть окисленной зоны включает смешанные сульфидные свинцово-цинковые рудные тела. Бóльшая часть железа, свинца и меди и почти весь цинк были удалены растворами в течение процесса окисления. То, что осталось, представляет собой ржавый, пористый, слабо сцементированный остаточный кремнезем с лимонитом и ярозитом в качестве главных компонентов. Как раз из этого материала, именуемого «пакос», в прошлом обширными открытыми работами добывалось серебро. Без сомнения, содержание в добывавшейся руде значительно превосходило даже то, которое теперь осталось в наилучших рудах. В настоящее время значительный тоннаж руд, содержащих от 180 до 340 *г/т* серебра и небольшое количество свинца и золота, постепенно уменьшается, поскольку этот материал используется как силикатный флюс при плавке в Ла Оройа.

Последние исследования указывают, что наибольшее количество свинца в железной шляпе, или «пакос», находится в плюмбоярозите или по крайней мере в разновидности ярозита, содержащего свинец. Форма нахождения серебра до сих пор не совсем выяснена, но можно предполагать, что серебро входит в молекулу ярозита. В некоторых местах присутствуют массы церуссита, а вблизи остаточного известняка обнаруживается некоторое количество смитсонита.

Непосредственно под окисленным покровом лежат пластообразные тела, представляющие зону обогащения супергенных сульфидов меди. Последние уже в известной мере разрабатывались в прошлом, главным образом ввиду большого содержания в них серебра; оставшееся количество было добыто в течение первых лет современных эксплоатационных работ. Главный горизонт этих вторичных сульфидных тел начинался несколько выше горизонта 90 и продолжался вниз до горизонта 120, но местами они достигали горизонта 150. Минералы зоны обогащения включают халькозин обычно тусклого темного вида в срастаниях с ковеллином. Серебро содержится в первом и местами достигает содержания, свойственного штромейериту. Темный, сине-черный цвет медистого сульфида и тесная его ассоциация с медным сульфидом соответствуют окружающей среде и указывают на то, что период активного обогащения уже прекратился, и на то, что вторичные сульфиды подвергаются частичному разрушению благодаря непрерывному опусканию процесса окисления.

Различие в мощности и непрерывность супергенных сульфидных тел объясняются данными микроскопического исследования, показавшего, что различные минералы в разной степени взаимодействуют с нисходящими растворами сульфата меди, т. е. в разной степени замещаются халькозином и ковеллином. При этом в первую очередь замещается галенит, затем сфалерит и пирит; последний является наиболее устойчивым перед воздействием

сульфидных вод. Эти отношения были выяснены раньше, чем было констатировано большое количество галенита и сфалерита в массе пирита. Последующие исследования подтвердили залегание главного халькозинового покрова на обогащенных свинцово-цинковых рудах.

После того как был доказан факт супергенного обогащения меди и серебра, было высказано предположение, что и некоторая часть свинца и цинка, выщелоченная из зоны окисления, была переотложена внизу с образованием зоны обогащения сульфидами свинца и цинка. В доказательство этого предположения указывалось на повышенное содержание свинца в верхней части сульфидного тела.

Однако ни широкие исследования супергенных сульфидов в других местах, ни микроскопические наблюдения над местными рудами не подтверждают этого взгляда. Вторичные халькозин и ковеллин уменьшаются в количестве с глубиной, залегая в виде все суживающихся и все более редко встречаемых прожилков, обычным образом секущих галенит и сфалерит. Пересеченные таким образом галенит и сфалерит во всех других отношениях являются идентичными с теми же самыми минералами, существующими на самых глубоких горизонтах, там, где супергенное действие представляется совершенно невероятным.

Происхождение свинцовых и цинковых руд Серро де Паско, так же как серебряных и медных руд, неразрывно связано с существованием магматического взрывного диатрема. Образование в этом участке нарушения Серро канала необычно низкого сопротивления, проходящего из глубины, где магма находится в расплавленном состоянии, до места выхода на поверхность, привело к скоплению в воронке огромных количеств минералообразующих растворов, которые в других случаях могли бы широко рассеяться и не дать промышленных скоплений руды. Вдоль этого канала происходил подъем не только растворов, но и тепла, и таким образом произошло ненормально высокое «вздутие» геоизотерм на пути прохождения растворов и непосредственно рядом с ним. В то же самое время низкий коэффициент трения в канале при прохождении растворов через еще неконсолидированную жерловую брекчию и прилегающий сброс сильно снизили по сравнению с обычной величиной фактор давления, действующего внутри раствора и на него. Такое парадоксальное сочетание высокой температуры с низким давлением является благоприятным для почти одновременного отложения и перекрытия во времени минералов различных пределов устойчивости, т. е. для телескопирования, которое в крайнем своем проявлении приводит к образованию класса ксенотермальных месторождений.

Именно эти особенности минерализации Серро де Паско характерны как для крупного сульфидного метасоматического

тела, так и для отходящих от него вдоль канала жил и сопровождающих их зон изменения.

В обычной обстановке зональные изменения минерализации более отчетливо проявлены по горизонтали, чем по вертикали, т. е. поперек, а не вдоль направления тока растворов. Однако в Серро де Паско наблюдается как раз обратная картина и происходят быстрые и поразительные изменения руд по вертикали как в текстурном, так и в химическом и минералогическом отношении.

Большие трубчатые тела пирротина, существующие на одном горизонте, совершенно прекращаются на следующем вышележащем горизонте или через горизонт. Мало интересные убогие руды, представленные сульфидами железа, быстро изменяются кверху, уступая место крупным промышленным свинцово-цинково-серебряным рудным телам. На небольшом расстоянии кверху от руд, представленных пирротином с касситеритом, появляется реальгар. Гематит и полианит находятся в тесной ассоциации с сульфосолями серебра и аргентитом.

Серицит — обычный признак изменения пород на средней глубине, присутствующий здесь в большом количестве, — вблизи главных канальных путей разлагается с образованием обильного алунита и диккита; в некоторых из наиболее глубоких труб, открытых до настоящего времени, в пустотах появляется алунит совместно с самородной серой, из которой местами могла возникать серная кислота, требующаяся для образования алунита и диккита.

Так же как и в других диатремах, минерализованные трубы характеризуются своеобразной минерализацией, обилием пустот и необычной последовательностью выделения минералов. Комбинация высокой температуры и низкого давления должна была обусловить вскипание растворов и, следовательно, вызвать увеличение объема и скорости подъема, а также разделение раствора на жидкую и газообразную фазы и отделение щелочных компонентов от кислых. Оба вида флюидов поднимались совместно бурно и порывисто. Структурные отношения и последовательность выделения минералов, имевшие место в период рудоотложения, представляются вполне соответствующими тем, что наблюдаются в настоящее время в этих интересных трубообразных месторождениях.

Серро де Паско, таким образом, представляет комбинацию обычного с необычным. Широтные жилы, содержащие энаргит, по всей вероятности, можно классифицировать как умеренно-мезотермальные с отчетливым проявлением поздней кислой активности. Западные оконечности жил, по всей вероятности более низкотемпературные, представляют лептотермальные условия. В крупном теле замещения совмещаются различные типы.

Глубокие части с пирротином и касситеритом, если их брать отдельно, можно рассматривать по крайней мере как мезотермальные, если не гипотермальные. С другой стороны, реальгаровые и серебряные тела наводят на мысль об эпитермальном происхождении, в то время как свинцово-цинковые тела занимают промежуточное положение и могут быть отнесены к лептотермальному типу. Вся обстановка, однако, является слишком сложной, чтобы ее можно было бы вполне уяснить себе в настоящее время; догматизм же здесь не может быть оправдан.

Что касается богатых свинцовых и цинковых руд, то кажется очевидным, что они обязаны своим существованием случайному соседству известняка со сложным рудоподводящим каналом. Это обусловлено сочетанием диатремы и сброса.

Район Морокоча

История. Район Морокоча, расположенный к востоку от высоких покрытых льдом вершин, отмечающих главный континентальный хребет, охватывает целую группу продуктивных месторождений, составляющих область минерализации, площадью примерно в 19 $км^2$. Мощная эрозия, последовавшая за поднятием, и затем интенсивное оледенение удалили почти всю окисленную зону, образовавшуюся до того времени. Обнажавшиеся серебросодержащие руды были, в общем, менее подходящими для примитивной металлургии до испанского и колониального времени, чем окисленные руды («пакос») Серро де Паско. Тем не менее добыча серебра, к которой впоследствии добавилось и извлечение свинца, производилась спорадически; в XIX столетии, с появлением облегчающих условий, добыча в прилегающих долинах увеличилась. В 90-х годах пониженное содержание руды и неблагоприятные цены на металл обусловили прекращение почти всех этих работ.

Как раз в это время, совпавшее с завершением строительства центральной железной дороги Перу — Ла Оройа, было обращено внимание на поиски медной руды в районе, находящемся в центре серебро-свинцового района. В начале настоящего столетия в этот район были вложены крупные перуанские, английские и американские капиталы, причем проявили наибольшую деятельность корпорация Copper Corporation в Серро де Паско и субсидируемая ею фирма Бакус и Джонсон в Перу. Флотационная фабрика, построенная вблизи рудников, и другая такая же фабрика, построенная в Маре близ портала длинного туннеля Кингсмилля, как только этот проект глубокого дренажа был завершен, позволили экономически рентабельно использовать низкопроцентные руды, вскрываемые по мере распространения горных работ в ширину и в глубину.

По мере расширения разведочных работ начались исследования периферических месторождений, дававших прежде серебро и свинец, и обнаружились смешанные руды, несущие цинк, свинец, серебро и медь, причем каждый из металлов в количествах ниже промышленных, но представляющих интерес в случае комплексного использования (при наличии соответствующих общих условий разработки). Улучшение селективной флотации и повышение цен на свинец и цинк способствовали тому, что месторождения эти явились главным источником промышленных запасов свинцово-цинковых руд корпорации. Медные и свинцовые концентраты отправляются для плавки в Ла Оройа, а цинковые концентраты вывозятся за границу.

Извлечение металла в районе Морокоча с 1928 до 1947 г. показано в табл. 13.

Таблица 13

Год	Медь, *кг*	Серебро, *кг*	Золото, *кг*	Свинец, *кг*	Цинк, *кг*
1928	26 240 000	69 259	130,500	2 222 000	—
1929	22 177 000	66 367	139,482	2 726 000	—
1930	19 110 000	51 767	112,833	1 551 000	—
1931	17 723 000	48 280	58,401	1 510 000	—
1932	15 016 000	41 163	55,566	—	—
1933	13 709 000	34 757	42,241	—	—
1934	13 704 000	32 772	43,375	—	—
1935	15 079 000	57 303	61,236	—	—
1936	14 063 000	62 370	82,215	—	—
1937	13 002 000	76 374	53,865	426 000	—
1938	10 969 000	71 413	55,282	1 587 000	—
1939	11 510 000	62 199	34,872	629 000	—
1940	12 643 000	56 274	43,942	2 286 000	—
1941	10 852 000	56 785	36,289	3 351 000	—
1942	9 704 000	62 823	38,839	3 419 000	—
1943	8 222 000	53 439	35,721	3 269 000	—
1944	6 782 000	37 620	29,482	2 648 000	—
1945	4 439 000	34 020	28,350	4 344 000	12 916 000
1946	4 439 000	19 731	26,932	1 809 000	8 548 000
1947	5 441 000	28 917	33,451	3 184 000	8 811 000

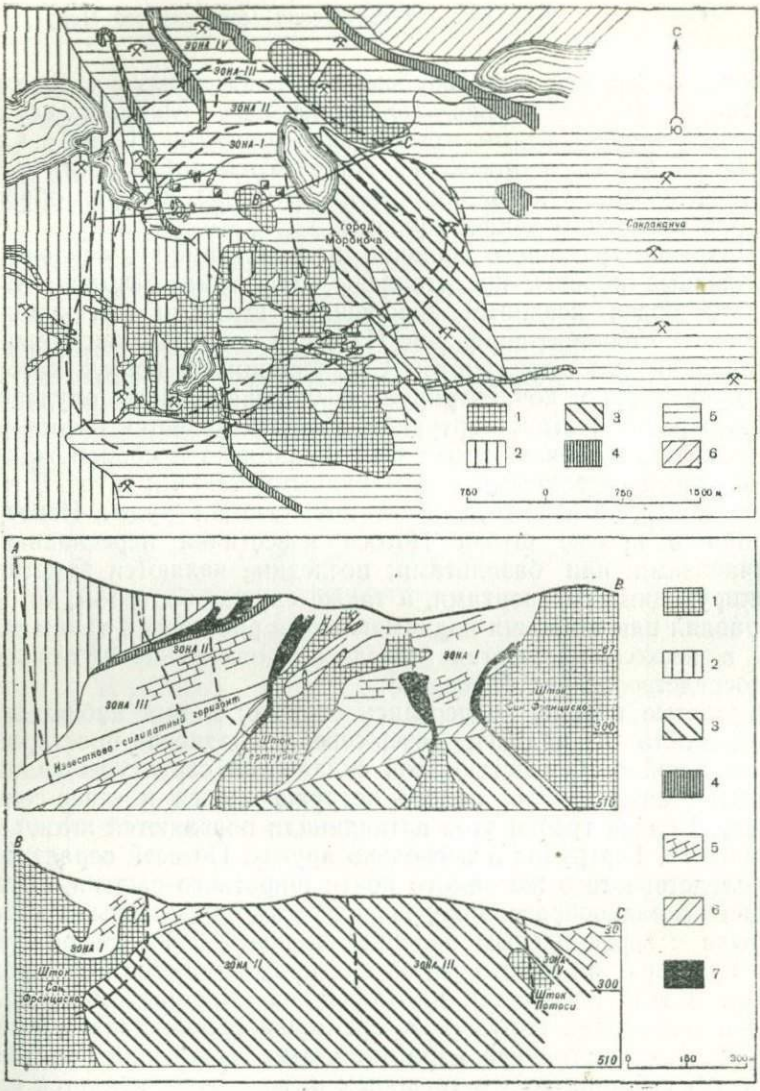
Геология района. Слоистые формации, представляющие вмещающие породы рудных месторождений Морокоча, включают филлиты формации Эксцельзиор (вероятно, силурийские), туфы Каталина и потоки андезитового состава (вероятно, карбоновые), красные сланцы формации Мйту, песчаники и известняковые

брекчии (тоже, вероятно, карбоновые) и известняки и доломиты формации Потоси (триас — юра), которые главным образом являются эквивалентами известнякам формации Париа в Серро де Паско. Меловые отложения встречаются поблизости, но они смыты в пределах антиклинальной структуры, которая образует центральную часть данного района.

Интрузии третичного времени, прорывающие эти осадочные и эффузивные породы, представлены диоритами Антикона и несколько более поздними небольшими штоками или куполами кварцевых монцонит-порфиров. Из числа последних заслуживают упоминания три штока: шток Сан Франциско, вокруг которого преимущественно концентрируется бóльшая часть оруденения данного района; шток Гертрудис, который является своего рода меньшим повторением штока Сан Франциско и сопровождается несколькими связанными с ним рудными телами; шток Потоси, менее интересный в отношении локализации руды. Непосредственно в кровле штока Потоси известняки переслаиваются с диабазами или базальтами; последние являются заметными маркирующими горизонтами, а также служат барьером, который направлял или отклонял поднимающиеся растворы и таким образом в нескольких местах обусловил отложение рудных тел (непосредственно под барьером).

Слоистые породы подверглись сжатию; в них наблюдаются складчатость и надвиги север-северо-западного простирания. Характерной особенностью этой складчатой структуры является открытая антиклиналь, полого погружающаяся к север-северо-западу. Вблизи гребня этой антиклинали появляются штоки Сан Франциско, Гертрудис и несколько других. По всей вероятности, как следствие того же самого почти широтного сжатия, обусловившего складкообразование, развились многочисленные трещины разрыва с вертикальным падением и почти север-северо-западного простирания; некоторые из них проходят через порфировые штоки. Вдоль плоскостей некоторых из этих разломов наблюдаются небольшие нарушения, преимущественно типа нормальных сбросов; по крайней мере часть этих нарушений произошла после образования жил в трещинах и, возможно, является следствием приспособления в период большого поднятия. На внешних крыльях центральной антиклинали ориентация трещинообразующих сил была такова, что разломы развивались в самых разнообразных направлениях. Указанные выше отношения изображены на карте фиг. 45.

На большом расстоянии от штока Сан Франциско известняки сильно изменены. Ближе всего от штока, который сам по себе подвергся местным эндоконтактовым изменениям, неравномерно распространяется ореол контактного метаморфизма обычного типа, если не считать присутствия в нем оливина и значительного



Фиг. 45. Геологическая карта и поперечные разрезы месторождения Морокоча, показывающие распределение пород, руд и зональность минерализации.

Зона I — высокое содержание меди, низкое — свинца и цинка; присутствует энаргит; обычны, а местами обильны теннантит и галенит. *Зона II* — высокое содержание меди и цинка; небольшое содержание серебра и свинца; обильные халькопирит и сфалерит; обычен теннантит; редко встречается галенит; обильны сфалерит и анкерит. *Зона III* — высокое содержание серебра и цинка, небольшое количество меди и свинца, обилен сфалерит; обычны теннантит и галенит; редко встречается халькопирит; обычен родохрозит. *Зона IV* — высокое содержание серебра и свинца, небольшое количество меди и цинка; обилен галенит; обычен сфалерит и теннантит; редко встречаются сульфосоли серебра.

Нижняя фигура: *1* — интрузив Морокоча. *2* — интрузив Антикона. *3* — эффузивы Каталина. *4* — базальт Монтеро. *5* — известняк Потоси. *6* — ангидрит. *7* — сульфидные тела. *Верхняя фигура*: *1* — интрузив Морокоча; *2* — интрузив Антикона; *3* — эффузивы Каталина; *4* — базальт Монтеро; *5* — известняки Потоси; *6* — песчаник Торибио; базальт Тукту.

количества хлорита среди других метаморфических минералов в тех участках, где известняк, по всей вероятности, был доломитизированным. Некоторые из известковых пластов избирательно превратились в плотную диопсидовую породу на протяжении сотен метров от штока. Вне контактово-метаморфического ореола огромные количества известняка превратились в мраморподобный ангидрит, который обычно сохраняет во всех деталях первоначальные детали слоистости. В пределах этой массы встречаются пустоты и тела брекчий обрушения, возможно, образующиеся в результате растворения известняков гидротермальными растворами, несущими серную кислоту. Некоторые другие горизонты превращены на значительном протяжении в светложелтый серпентин.

Все эти ранние изменения лишили известняк его обычной характерной особенности как благоприятной вмещающей породы для руды. Бóльшая часть рудных тел, образовавшихся впоследствии в пределах неблагоприятной полосы изменения, представлена жилами или выполнением промежутков брекчий, проявляющими мало зависимости от химической природы стенок.

Помимо нескольких небольших проявлений, в данном районе присутствуют три главных структурных типа рудоотложения: жилы, приуроченные к трещинам, главным образом широтного простирания, плащеобразные замещения (манто) вдоль некоторых известняковых благоприятных пластов и трубы вдоль круто падающих проницаемых каналов (будь то структуры брекчирования или пересечения жил).

Разработка меди в настоящее время началась с жил и жильных зон, богатых энаргитом, пиритом и кварцем в штоке Сан Франциско. Затем внимание было обращено на плащеобразные тела, трубы и жилы в известняке на таком расстоянии к северу от штока, на котором его карбонатный характер все еще сохраняется. Питающими каналами плащеобразных тел являются жилы или реже трубы, пересекающие горизонт, благоприятный для замещения; но иногда плащеподобное рудное тело локализуется благодаря интенсивному дроблению данного горизонта, а не из-за его благоприятного химического характера. Несколько таких манто лежат непосредственно под плотным невосприимчивым покровом сильно окремненного известняка или пластовой интрузии базальта. Медные руды в известняке заключают пирит, энаргит, борнит, теннантит и менее обычные сульфиды в жильном родохрозите и анкерите. Наиболее важным источником меди было манто Омбла, о котором будет говориться ниже. В дальнейшем намечены для эксплоатации медные жилы среди плотных вулканических пород формации Каталина, расположенные главным образом к востоку и северо-востоку от штока Сан Франциско и продолжающиеся в некоторых случаях в штоке Потоси или

далее от него на восток. О присутствии большого количества подобных жил было известно на основании наличия мелких древних выработок, где добывались серебро-свинцовые руды. Разведка на большую глубину открыла медно-серебряную минерализацию главным образом в виде теннантита и халькопирита с пиритом, кварцем и анкеритом.

Следующий перечень включает рудные минералы в различных гипогенных рудах рудника Морокоча:

Энаргит	Галенит	Айкинит	Эмплектит
Люцонит	Пирит	Кубанит	Алабандит
Теннантит	Борнит	Шеелит	Гематит
Халькопирит	Пирротин	Молибденит	Магнетит
Сфалерит	Штернбергит	Бурнонит	

Свинцово-цинковые руды. Свинцово-цинковые руды района Морокоча встречаются почти без исключения во внешних или верхних частях тех же самых структур, что содержат и медные руды. Главными структурными типами свинцово-цинковых тел являются жилы и манто. Периферическое положение концентраций сфалерита и галенита относительно штока Сан Франциско является дополнительным указанием на то, что этот шток — центр минерализации района.

После пирита сфалерит является наиболее распространенным и наиболее обильным сульфидом района. Он обычно встречается в подчиненных количествах в медных рудах, за исключением энаргитовых руд, где он присутствует в ничтожном количестве. Его количество возрастает по направлению к краям или к боковым границам медных тел, безразлично, имеют ли эти части или нет промышленное содержание металлов в комплексных рудах.

Галенит более локализован, чем сфалерит, и не столь обилен. Он развит в незначительном количестве или отсутствует везде, за исключением периферических частей тел, разрабатывавшихся прежде на медь. Таким образом, он имеет еще более «центробежную» тенденцию, чем сфалерит. В периферических частях галенит, кроме того, с увеличением глубины имеет тенденцию уменьшаться в количестве по сравнению со сфалеритом. Таким образом, в самом глубоком рудном теле Катинка, несущем сфалерит (с пирротином), на горизонте 510 *м* галенит фактически отсутствует и обратно: в галенитовых рудах, близких к поверхности (с преобладающими количествами серебра), сфалерит является подчиненным минералом. Рудник Сакраканча, например, расположенный высоко в восточной части района, является прежде всего производителем серебра из галенитовой руды; несмотря на то что это месторождение лежит вблизи рудника Катинка, разрабатываемые им руды залегают на 450—600 *м* выше, чем совершенно отличные руды в глубоких выработках

Катинка, о которых уже упоминалось. Подобным же образом старые разработки серебра и свинца на небольших глубинах в каталинских вулканических породах содержали сравнительно небольшое количество цинка, несмотря на то, что непосредственно подстилающие части тех же самых руд дали большое количество меди, в которой присутствовало небольшое количество галенита. К восточному краю этих же самых и подобных им жил (т. е. дальше всего от штока Сан Франциско) и сфалерит и галенит вместе с серебросодержащим теннантитом представляют смешанную руду, пригодную для разработки. Жилы, находящиеся вне антиклинальных крыльев (имеющих другое простирание, отличное от широтного), по всей вероятности, нигде не приближаются к центральному узлу наибольшей интенсивности минерализации. Поэтому такие жилы обычно бывают лишены значительной медной минерализации вдоль известного их протяжения и содержат лишь сфалерит с галенитом или один галенит в ассоциации с серебром. Значительное количество этих жил приближается к простиранию СВ 50°, и среди наиболее значительных имеется группа жил, расположенных к западу от центральной площади и секущих диорит Антикона.

С постепенным удалением от центральной площади, где преобладает медь, повышается относительное количество серебра. Там, где медь присутствует в теннантите и халькопирите, а не в энаргите, отношение серебро : медь выше, а теннантит является главным серебросодержащим минералом. Далее за пределами этой площади, по мере того как количество цинка увеличивается, содержание халькопирита уменьшается, а теннантит остается главным носителем серебра. То же самое наблюдается и в удалении от центра, по мере того как увеличивается количество свинца. Укоренившиеся понятия о том, что «серебро идет с галенитом», определенно теряют свою силу в отношении этих смешанных руд; однако его можно применить к наиболее отдаленным и наиболее низкотемпературным рудам, в которых лишь скудные количества медных минералов и сфалерита появляются вместе с галенитом. Сфалерит месторождений центральной площади имеет темный цвет, он железистый и местами приближается к марматиту; в промежуточных положениях он имеет более светлую окраску, доходящую до соломенно-желтой.

Жильные минералы также прогрессивно изменяются с удалением от центра. В участках жил, богатых энаргитом, жильным минералом обычно является кварц, а преобладающим изменением боковой породы является серицитизация. В рудных телах, содержащих теннантит и халькопирит, присутствуют кварц и анкерит; серицит и анкерит встречаются в прилегающих боковых породах. Цинково-свинцовые тела с подчиненным количеством меди в качестве характерного жильного минерала содержат анкерит

с родохрозитом в периферических частях; изменение боковой породы — анкеритовое и хлоритовое. Наконец, свинцово-серебряные тела в качестве жильного минерала несут кальцит, и изменение их вмещающих пород слабое.

Все эти различные соотношения и распределения металлов и минералов в жилах весьма разнообразны, хотя общая картина зонального распределения в регионе выдерживается. Единственное значительное отклонение от обычной зональности представляет уже упомянутая жила Катинка, так как присутствие пирротина трудно было бы предугадать в этой цинксодержащей жиле, находящейся так далеко к востоку от указанного зонального центра штока Сан Франциско. Само собой напрашивается возможная аналогия со сфалеритсодержащими пирротиновыми рудами Серро де Паско; но это месторождение имеет форму труб, находящихся в «горячем центре» или вблизи от него. До настоящего времени месторождение Катинка остается аномальным.

Манто, содержащие цинк, свинец и серебро, в некоторых случаях обнаруживают изменения такого же характера, что и жилы. Другие манто сравнительно постоянны и однообразны с начала до конца. Они избегают тех частей известняка, которые были сильно изменены в диопсид, тремолит, серпентин или ангидрит, и таким образом встречаются в относительном удалении от центра Сан Франциско. Подобно жилам, содержание в них колеблется, так что значительные части данных тел (некоторые тела — целиком) являются непромышленными. Определенно видно, что многие из них «питаются» жилами или прожилками; эти подводящие прожилки можно предполагать. Весьма в редких случаях эти питающие жилы имеют достаточную величину и содержание для самостоятельной разработки, даже если некоторые из них пересекают пласты немного измененного известняка, прежде чем они доходят до горизонта плащеобразной залежи (манто). Повидимому, растворы осаждали содержащиеся в них растворимые вещества с образованием галенита и сфалерита лишь там, где они приходили в соприкосновение с известняками именно такого характера, чтобы они могли поддаваться реакции замещения. Дорудная трещиноватость горизонта манто была, без сомнения, в некоторых случаях также способствующим фактором.

Одним из наиболее сложных и показательных из числа цинковых месторождений в районе является скопление сфалеритовых руд в нижней части медного манто Омбла. Это большое рудное тело, которое дало несколько сот миллионов килограммов меди в своей верхней части, находится вблизи пересечения двух главных круто падающих жил широтного простирания. Жилы имеют тенденцию слиться с телом манто и скрываются в нем. На низшем горизонте работ (360 *м*) площадь минерализации больше,

но никаких относящихся к ней жил найдено не было. Известняковая формация, включающая манто, падает под довольно пологим уклоном на запад-юго-запад, тогда как рудное тело погружается немного более круто. Оно состоит из целого ряда широких пластообразных тел замещения, идущих вдоль напластования и соединенных менее мощными образованиями замещения, следующими по направлению трещин более крутого падения. Таким образом, рудное тело в целом постепенно опускается и от более благоприятных горизонтов на востоке постепенно доходит до менее благоприятных горизонтов на западе.

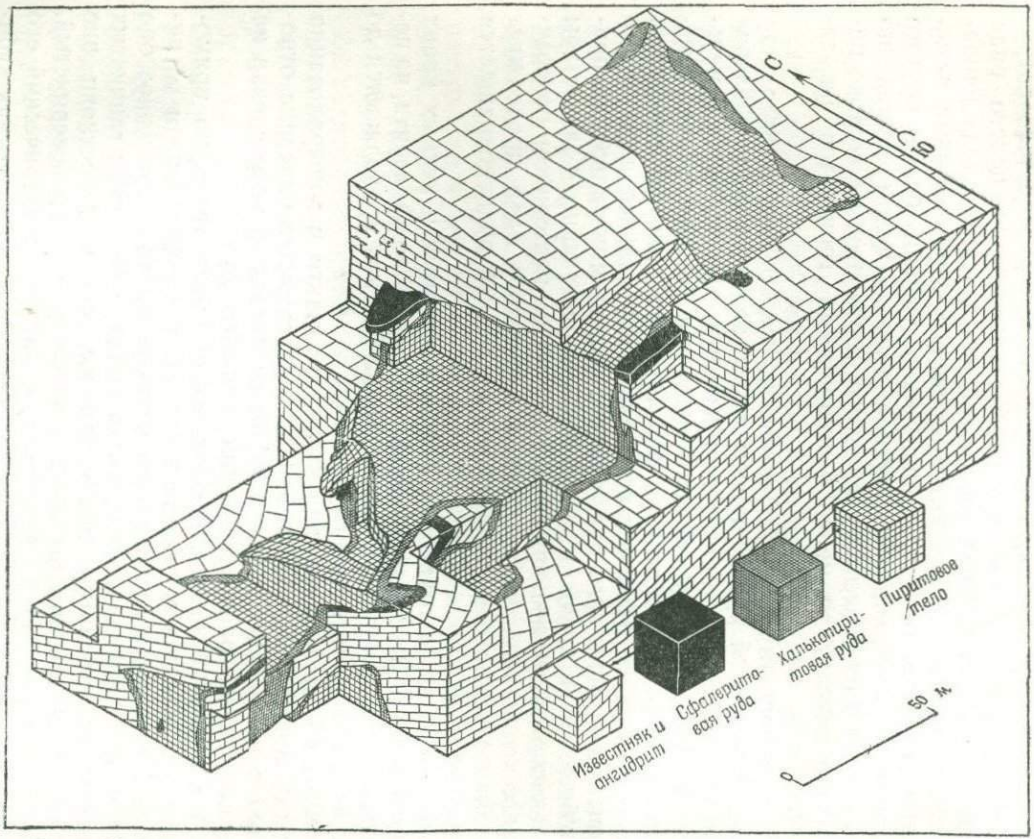
В верхних выработках фактически все сечение рудного тела слагалось медной рудой, причем пирит, халькопирит и сфалерит являлись главными металлсодержащими минералами; в меньшем количестве присутствовали энаргит и борнит; следует отметить присутствие кварца и родохрозита как жильных минералов. Немного глубже начинает появляться центральное ядро низкопроцентных пиритовых руд, причем медная минерализация приурочивается к краям и выражена возрастающим количеством халькопирита. Далее при более или менее постоянном поперечном сечении тела манто размер пиритового ядра продолжает увеличиваться, а окружающее кольцо медной руды сокращается в размерах.

Немного выше горизонта 300 *м* в северных и южных краях манто местами наблюдается большое количество сфалерита, на периферии халькопиритовой руды. Такая картина продолжается до наибольшей достигнутой глубины.

Фиг. 46 дает общий вид структуры манто и минерализации между горизонтами 300 и 360 *м*. Последующее описание относится к нижней части тела Омбла; специальный упор сделан на характеристике распространения цинковых руд.

На более низких горизонтах манто имеет примерно прямоугольное поперечное сечение и состоит главным образом из пирита. Метасоматическое происхождение манто несомненно; оно особенно подтверждается остатками слабозамещенных глинистых пластов, залегающими точно так же, как и известняки вне манто. Пирит преимущественно, но не всегда, грубозернистый. Многочисленные друзы выявляют пентагондодекаэдрический его облик в центральной части пиритового тела, в то время как кубические формы являются более обычными вблизи внешних границ пиритового ядра. Кварц обычен в пустотах. Анализы проб указывают на небольшое количество меди и цинка во всей массе пирита; около краев пиритового тела появляются сфалеритовые друзы, а также присутствуют прожилки сфалерита и галенита.

На периферии пиритового тела, особенно у крутых северных и южных так называемых «конечных стенок манто», довольно



Фиг. 46. Изометрическая проекция нижней части манто (плащеобразного тела) Омбла, Морокоча, показывающая распределение пород и руд.

выдержанные тела образует халькопиритовая руда; в большинстве случаев эти тела имеют таблитчатую форму и почти вертикальное положение между пиритом и известняком; местами, однако, они проникают по всем направлениям. На востоке и на западе, т. е. в лежачем и висячем боках, граница манто и окаймляющего ее слоя или зоны халькопирита гораздо менее постоянна и последний проявлен только в участках наиболее крутого падения зальбандов манто.

Халькопиритовая руда везде содержит пирит в большем или меньшем количестве; в некоторых местах халькопирит распределяется в пирите, который играет роль основной массы брекчии или псевдобрекчии. В других местах чередующиеся слои обоих минералов образуют полосчатую структуру; наконец, местами проявляются лишь рассеянные зерна пирита. Сфалерит, борнит, теннантит и ферберит с кварцем, анкеритом, флюоритом и апатитом являются подчиненными компонентами халькопиритовых тел.

Находящиеся в более или менее тесной смеси с халькопиритом минералы — сфалерит, теннантит и галенит — местами составляют краевые медно-цинково-серебряные руды, которые контактируют с известняками. Такие тела проявляются на стороне висячего бока, там, где граница манто имеет более пологое падение, а также на южной оконечной стороне, где они проявляются в виде мелких тел, вдающихся в некоторые пласты полого падающих известняков. Эти смешанные руды, повидимому, являются дополнением халькопиритовых руд, причем последние локализуются вдоль крутых границ рудных тел, в то время как первые находятся в такой непосредственной зависимости от селективного замещения некоторых известняковых пластов, что они наследуют пологое падение последних.

Только что описанная разновидность типа смешанных руд проявляется там, где содержание сфалерита заметно становится преобладающим. Наиболее характерный пример этого типа представлен в южном окончании манто, где выступающие к югу мелкие апофизы согласны со слоистостью известняка и неоднократно повторяются, начиная с наиболее глубоких выработок и поднимаясь гораздо выше горизонта 300 *м*. Контакт с известняком обычно резкий, без всяких местных изменений в составе породы. По направлению пиритового ядра изменение халькопиритовой руды обычно также бывает резким. Те же самые агрегаты сульфидов и жильных минералов, перечисленные ранее, а также барит встречаются в этих сериях «апофиз», однако главным минералом везде является сфалерит, окрашенный преимущественно в коричневый цвет. Теннантит стремится располагаться по возможности ближе к ядру, в то время как галенит рассеивается во всех направлениях. Масса в целом варьирует от пори-

стой, изобилующей пустотами, до плотной и тонкозернистой. Эти различные текстуры местами проявляют неясно выраженную полосчатость. Местами проявляется брекчиевая структура, и иногда в ней присутствуют обломки более или менее силифицированного известняка.

Манто продолжается в глубину ниже современных самых глубоких выработок. В настоящее время выработки быстро приближаются к сильно ангидритизированному известняку, хотя пока лишь северный конец и лежачий бок пришли в непосредственное соприкосновение с ангидритом. Очевидная зависимость образования смешанной руды и руды, богатой цинком, от присутствия легко замещаемого известняка придает большой интерес дальнейшему углублению работ, особенно если широкое превращение известняка в ангидрит являлось немного более ранней фазой процесса минерализации, чем локализованное развитие манто.

Манто Омбла в целом является поразительным примером местной зональности. Пиритовое ядро представляет наиболее высокотемпературную фазу минерализации. Вокруг него и над ним лежат последовательные зоны, имеющие все более низкотемпературный состав. Во времени, повидимому, здесь произошел разрыв между отложением пиритового ядра и окружающих его оболочек халькопирита-пирита, теннантита-халькопирита-сфалерита и сфалерита-галенита, так как эти внешние зоны занимают участки дробления между пиритовым манто и вмещающим известняком и проникают вдоль трещины в пиритовое тело. Имеется мало указаний на разделение во времени отложения халькопирита, сфалерита, теннантита и галенита, хотя сфалерит в большинстве случаев является более ранним, чем халькопирит. Местные геологи обычно считают, что зональное распределение вокруг пиритового ядра является следствием прежде всего влияния вмещающих пород на рудоотложение: брекчиевый пирит по периферии манто благоприятствовал отложению медных минералов, а известняк, вмещающий манто, благоприятствовал осаждению свинцовых и цинковых минералов. Однако не исключена возможность, что зональное развитие совершалось, начиная от центра, в стороны и вверх в условиях увеличения температуры в процессе минерализации и что конечный состав руды мог возникать путем замещения ранее образованных более низкотемпературных комбинаций минералов. Такая прогрессивная переработка, по всей вероятности, происходила одновременно во всех зонах, так что наиболее поздний минерал, отложившийся в одной зоне, вероятно, был одновременным с наиболее поздним минералом в другой зоне.

Такая концепция не исключает повторного отложения данного минерала в различное время в том же самом участке, что могло

привести к кажущемуся противоречию с обычной последовательностью. Такое повторение и даже обратный порядок минералообразования, не связанный с повторным отложением, повидимому, является обычным в тех случаях, когда проявляется заметное телескопирование и какие-либо другие необычайные условия, например повторные приоткрывания трещин. Но, как правило, такие отклонения от нормального хода имеют сравнительно подчиненное значение. Например, в манто Омбла сфалерит, присутствующий в халькопиритовой руде, в большинстве случаев является более ранним, чем халькопирит, но в пустотах среди халькопиритовых руд имеется в небольшом количестве поздний сфалерит более красноватого или более светлого цвета; в свою очередь, на этих поздних сфалеритовых кристаллах нарастают снова мелкие халькопиритовые кристаллы. Подобным же образом в цинковых рудах меньшие количества позднего красноватого сфалерита ассоциируют с главной генерацией темнокоричневого сфалерита.

Местная концентрическая зональность в манто Омбла является отражением общего зонального распределения рудопроявлений района.

В генетическом отношении руды Морокоча, хотя они и являются частью единого комплексного процесса минералообразования, варьируют от мезотермальных кварц-пиритово-энаргитовых тел до типичных лептотермальных типов, расположенных в периферических и верхних частях. Приуроченные к периферии цинковые и свинцово-цинковые месторождения являются главными представителями низкотемпературного лептотермального типа. Еще более низкотемпературными, приближающимися к телетермальному типу, являются галенитовые серебросодержащие рудные тела, расположенные далеко от центра и на высоких уровнях. Своеобразная куполообразная форма проявления местной зональности в манто Омбла, сочетающаяся со стимулирующим воздействием известняков, обусловила значительное телескопирование и смешанное отложение минералов. Было бы интересно проследить продолжение манто на еще более глубоких горизонтах и посмотреть, помешает или нет присутствие ангидрита постепенному переходу пиритового ядра в смешанные пирито-пирротиновые руды или близкие к ним руды типа тех, что наблюдаются в пирротиновых трубах Серро де Паско. Такой переход на глубине возможно предугадать, учитывая появление пирита, пирротина и сфалерита в жиле Катинка, находящейся южнее, на 152 *м* ниже современных самых глубоких выработок в месторождении Омбла. На основании имеющихся скудных сведений о месторождении Катинка его можно пока классифицировать как мезотермальное и предположить гипотермальный тип его минерализации на большей глубине.

Район Сан Кристобаль

Введение. Район Сан Кристобаль расположен на восточном склоне высокой долины, около 13 *км* к югу от Мара и Центральной железной дороги Перу, с которой он связан ветками наземной и подвесной дорог. Лагерь и главные штольни расположены на высоте примерно 4575 *м*, а главные разработки находятся между этим горизонтом и поверхностным обнажением примерно на высоте 5000 *м*. Высоко над лагерем находятся ледяные поля с короткими распространяющимися ледниками, которые медленно отступают.

В течение многих десятилетий разработки серебра велись на небольших глубинах под выходами жил вблизи от снеговой линии, а также в разрезе Карауакра, который является северо-западным продолжением района Сан Кристобаль. Свинец добывался как побочный продукт, в то время как сопутствующий цинк не извлекался. В 1929 г. корпорация Серро де Паско приобрела значительную площадь многообещающего участка и приступила к эксплоатации главной жилы Сибериа. К концу 1944 г. военные потребности вынудили предоставить обогатительную фабрику в Маре для обработки других руд, и рудник Сан Кристобаль с того времени не разрабатывался, однако в скором времени на нем снова возобновится регулярная работа.

Добыча металла из района Сан Кристобаль с 1937 по 1944 г. показана в табл. 14.

Таблица 14

Год	Медь, *кг*	Серебро, *кг*	Золото, *кг*	Свинец, *кг*	Цинк, *кг*
1937	99 000	1 360,8	7,938	68 000	174 000
1938	1 149 000	13 117,5	66,555	625 000	3 166 000
1939	1 162 000	14 660,0	73,993	812 000	3 256 000
1940	*506 000*	*9 137,2*	*39,973*	*529 000*	*1 564 000*
1941	593 000	7 146,5	26,932	338 000	3 185 000
1942	647 000	10 551,9	39,973	687 000	2 802 000
1943	546 000	13 843,3	44,793	1 067 000	3 034 000
1944	334 000	8 161,9	34,303	822 000	2 539 000

Геология района. Участок Сан Кристобаль расположен в 19 *км* на юго-восток от Морокоча на продолжении западного крыла той же самой антиклинальной и нарушенной надвигом структуры, которая называется антиклиналью Чумпе и слагается теми же самыми осадочными эффузивными формациями, вмещающими руду: филлитами формации Эксцельзиор, андезито-

выми и дацитовыми потоками и туфами формации Каталина и Яули и известняками Потоси. Вблизи рудника находится небольшой массив кварц-монцонитового порфира, а также дайки подобных же пород. В более позднее время участок был пересечен главной рудоносной структурой — жилой Сиберия. По аналогии с другими участками района, порфир относится к третичному возрасту.

Жила следует по мощной сбросовой зоне, которую можно проследить по поверхности на протяжении 2 *км*. Зона имеет, в общем, северо-восточное простирание и пересекает ось антиклинали; в деталях она состоит из трех соединяющихся сегментов, из которых центральный отклоняется несколько к востоку от среднего простирания зоны. Углы падения колеблются от 50 до 60° к югу. Это нарушение представляет нормальный сброс с амплитудой перемещения до 200 *м*. Наибольшая часть сброса, насколько известно, проходит в филлитах, которые в этом месте сильно сланцеваты и обладают непостоянной, но, в общем, низкой компетентностью. Поэтому зона нарушения по своему характеру варьирует от довольно резко ограниченной полосы (заключающей трещины скалывания и глины трения) шириной в несколько дециметров до неопределенного пояса сложно переплетенных зон смятия и скольжения до 91 *м* ширины. Своим западным концом нарушение пересекает вулканические породы, которые в своем измененном состоянии являются значительно более хрупкими, чем филлит, и поэтому придают нарушению характер довольно узкой дислоцированной зоны с небольшим смятием. Зона разлома входит в вулканические породы на восточном крыле антиклинали.

В эту неустойчивую проницаемую зону рудные растворы проникли соответственно с различной легкостью и на различные расстояния. Длинные участки зоны показывают лишь слабые следы минерализации, другие несут сравнительно плотный жильный (безрудный) материал, наконец местами наблюдается широкая рассеянная минерализация или серии многочисленных, почти параллельных жил и минерализованных трещин. Содержание металла в руде не согласуется в достаточной мере ни с характером структуры, ни с количеством привнесенного материала. Минерализация, интенсивная в тех случаях, когда она имеет ширину, достаточную для разработки, частично представлена пиритом или жильными минералами; многочисленные забои находятся на широкой зоне развития маломощных прожилков и просечек, богатых содержанием ценных сульфидов. Рентабельные рудные столбы варьируют в мощности от 0,6—0,9 до 9 и более метров.

В общих чертах во всех разработанных до сих пор частях залежи наблюдаются одни и те же минеральные ассоциации. Другими словами, каждый из минералов, имеющий значение,

является устойчивым в своем распространении на протяжении всей залежи. Однако пространственное количественное распределение некоторых металлов, определяющее вид и сорт руды, варьирует довольно систематическим образом благодаря изменению количественного соотношения минералов. Как показывает следующее описание, характер и место этих вариаций в соотношении минералов наводят на мысль о некотором проявлении обычной зональности.

Руда в нижней и центральной частях среднего сегмента простирания жилы несет медь и серебро с достаточным количеством золота; халькопирит и теннантит-тетраэдрит являются ценными минералами; пирит, сфалерит и небольшое количество галенита являются сопутствующими минералами. Жильными минералами *являются главным образом кварц и сидерит.*

Кверху и на запад от медных забоев жила или залежь несет рудные скопления, преимущественно цинка и свинца, описанные ниже, но также содержит значительное количество меди и серебра.

По направлению к западному концу в обнажении на отвесном борту долины Карауакра прежними владельцами разрабатывалось серебро в галенито-сфалеритовых гнездах в тех местах, где залежь лежит в вулканических породах, или на контакте их с филлитами. Главным источником серебра, вероятно, является теннантит, но послеминеральные движения, которые являются обычными для всей залежи, настолько раздробили жильный материал, что определения мелких включений подчиненных минералов невозможны.

Свинцово-цинковые руды. Сфалерит является главным ценным минералом рудных скоплений, за исключением преимущественно медных участков. Подчиненное количество галенита, небольшое количество халькопирита и тетраэдрита и скудное количество спорадического гематита с анкеритом, кварцем и небольшим количеством барита завершают содержание жильного материала.

Из-за ширины потенциальной рудоносной зоны приходится проводить короткие поперечные сечения через небольшие интервалы в оба направления от центрального штрека. Не было найдено никаких указаний на то, чтобы изменение состава филлитов или их структурных и текстурных особенностей вдоль зоны нарушения сколько-нибудь влияли бы на отложение руды.

Поскольку единственным фактором, контролирующим рудоотложение, повидимому, является сама зона нарушений, было уделено много внимания на изучение того, наблюдается ли специфическая приуроченность руды к какому-либо определенному направлению в различно простирающихся отрезках этой зигзаго-

образной зоны. В жиле или залежи попеременно изменяющегося простирания легко узнать (после полного вскрытия руды), какое из двух направлений несет наибольшее количество руды, и заключить на основании этого, какое именно из этих направлений являлось наиболее благоприятным. После того как это устанавливается прагматически, можно вывести возможное объяснение. Но начинать искать руду, принимая заранее, какое именно из двух направлений является наиболее благоприятным, по крайней мере в данном случае, нелегко; к тому же было весьма небольшое количество действительных доказательств. Соображения более или менее теоретического характера были противоречивы, независимо от того, предлагались ли они одним наблюдателем или несколькими. Нельзя было полностью доверяться результатам чистой добычи. Зона в целом была недостаточно исследована; ни одно рудное скопление, из числа до сих пор известных, не придерживается какого-либо одного направления по сравнению с другими, для того чтобы можно было эксплоатировать рудные тела одного простирания и пренебрегать иным.

Необычный пример того, что можно рассматривать как сильно локализованную зональность, проявляется там, где жила сечет и смещает две вертикальные кварц-порфировые дайки мощностью свыше 30 *м* каждая. Там, где жила контактирует с дайками и на протяжении десятков метров по обеим сторонам проходит в филлитах, она обнаруживает глубокие изменения своего обычного характера. Вместо хрупкой глинистой смеси сфалерита, галенита, пирита и сидерита или анкерита здесь наблюдается твердый, грубозернистый агрегат этих минералов вместе с заметным количеством вольфрамита и кварца. Изменение вдоль жилы совершается очень быстро, хотя и плавно, и приводит к совсем необычному минералогическому составу и структуре. Вольфрамит и кварц присутствуют лишь как составные части самой жилы; они не встречаются внутри тела даек и по их зальбандам. Не было обнаружено никаких признаков, говорящих за наложение одного типа минерализации на другой, наоборот, установлено, что вся серия минералов относится скорее к одной эпохе минерализации. Нет никаких доказательств в защиту взгляда, что вольфрам пришел из даек, которые, по всей вероятности, выкристаллизовались до нарушения и образования жилы; кроме того, если вольфрам был привнесен дайками, то он должен был бы находиться повсеместно и вдоль них. Никакое другое заключение, кажется, не совместимо с известными фактами, что рудные растворы осадили «нормальный» жильный материал в отдалении от даек, в то время как вблизи даек растворы, кроме того, отложили много кварца, вольфрамита и пирита, причем возникли и более грубозернистые руды.

Казалось, что эти условия могли бы быть достигнуты, если бы внедрение даек так близко предшествовало сбрасообразованию и минерализации, что рудные растворы встретили непосредственно вблизи даек более теплую среду, чем в других частях канала на том же самом уровне. Вполне возможно, что благодаря местным термальным изменениям тот же самый раствор отложил различные минеральные комплексы в соответствующих частях той же самой жилы. Этот случай заслуживает дальнейшего изучения по мере развития добычи.

Совершенно отличное месторождение, известное как манто Карауакра, простирается на 2 *км* вдоль западного крыла антиклинали Чумпе; оно залегает в известняке формации Потоси немного выше отложений вулканических пород формации Каталина. За исключением мелких разбросанных древних выработок на серебро, оно до сих пор мало разрабатывалось. Главными минералами являются сфалерит и пирит с некоторым количеством свинца и серебра в жильном теле из кварца и богатого марганцем сидерита.

Район Касапалка

Местоположение и история. Жила Касапалка залегает за отвесным восточным склоном каньона реки Римак, непосредственно на запад от водораздела. Дно долины у лагеря, по которому проходит центральная железная дорога Перу, имеет высоту примерно 4116 *м*. Наивысшее обнажение лежит на высоте 4954 *м*. Немного далее на восток вершина Серро Карлос Франциско достигает высоты 5210 *м*.

Первые разработки на серебро начались на высоких обнажениях, на которых богатая руда обнаруживалась пятнами. Впоследствии компания Бакус и Джонсон (организованная сначала в Нью-Джерси, затем реорганизованная в Перу во время первой мировой войны и потом приобретенная корпорацией Серро де Паско) начала еще до 1888 г. более систематическую и усиленную эксплоатацию на все возраставшей глубине. С изменением характера руды по сравнению с поверхностными ее выходами в 1909 г. была сооружена плавильня для меди, хотя главная ценность заключалась в разработке серебра. Эта плавильня продолжала действовать до 1923 г., но в конце концов она была заменена обогатительной установкой, в которой проводилась с 1919 г. коллективная флотация, а с 1925 г. — селективная флотация с разделением медных, свинцовых и цинковых концентратов. Цинковые концентраты экспортируются за границу, а другие обрабатываются в Ла Оройа.

Добыча металлов на руднике Касапалка за время с 1926 по 1947 г. показана в табл. 15. В течение части 1931 г. и в 1932—1933 гг. рудник был закрыт.

Таблица 15

Год	Медь, *кг*	Серебро, *кг*	Свинец, *кг*	Цинк, *кг*
1926	1 060 584	83 638,1	6 119 610	10 320 850
1927	1 216 987	84 665,7	6 627 990	10 341 710
1928	1 669 012	112 645,8	9 469 190	14 831 830
1929	1 979 270	120 762,5	9 555 650	14 843 570
1930	2 781 730	108 010,6	7 363 560	14 518 360
1931	929 520	17 990,9	1 349 670	3 216 070
1932	—	—	—	—
1933	—	—	—	—
1934	930 220	69 525,5	5 151 760	7 204 240
1935	1 391 850	106 703,7	8 280 550	11 138 470
1936	1 477 870	68 555,9	8 579 720	12 085 970
1937	2 079 090	119 866,6	8 355 820	14 590 430
1938	2 930 260	74 415,9	6 420 150	12 869 572
1939	2 334 330	80 511,1	6 869 160	10 533 950
1940	1 764 980	88 246,0	6 992 100	11 455 010
1941	1 581 870	83 232,7	7 120 480	10 146 210
1942	1 325 400	85 188,9	7 051 110	8 355 824
1943	1 071 510	66 608,3	8 581 080	9 743 870
1944	1 043 510	45 490,4	5 648 340	10 115 370
1945	890 370	51 897,5	6 650 220	12 125 600
1946	981 830	48 923,6	5 764 920	10 435 530
1947	1 073 990	46 258,7	5 367 670	20 045 150

Геология района. Сочетание резкого рельефа с крутыми углами падения, обусловленными складчатостью, способствует обнажению третичных пород мощностью в несколько сот метров, лежащих несогласно на меловых известняках формации Мачей. Третичные формации, в которых различается по крайней мере 8 свит, представлены мелководными континентальными осадками, чередующимися с эффузивными разностями, главным образом пирокластического характера. Руду вмещают главным образом красные пласты сланцев и песчаников формации Касапалка, залегающие близ основания третичного разреза, а также туфы, потоки и плотные порфиры (которые, возможно, являются интрузивными), принадлежащие к формации Карлос Франциско и лежащие выше несогласия. Определенно интрузивные массивы монцонитового порфира также находятся в этом районе.

Район расположен в пределах одной из западных антиклиналей широкого антиклинория с главной осью в Морокоча,

примерно в 30 *км* восточнее, и таким образом участвует в преобладающей региональной структуре север-северо-западного простирания. Сравнительно пластичные третичные формации подверглись довольно резкой складчатости с углами падения до 80—85° на соответствующих крыльях местной антиклинали.

Группа мощных и выдержанных трещин северо-восточного простирания, падающих северо-западнее до 70°, диагонально пересекает антиклиналь. Так же как главные жилы Морокоча и Сан Кристобаль, эти трещины, повидимому, являлись первоначально трещинами разрыва, перпендикулярными к осям складок, и затем в процессе приспособления и разгрузки давления вдоль них происходили нормальные сбросы, обычно незначительной амплитуды.

Пять из этих разломов, или групп разломов, послужили путями прохождения растворов, из которых отложились руды промышленного значения. Два из них — Сан Франциско — Консуэло и Агуас Калиентес, расположенные почти на одной линии, содержат главные рудные тела из числа известных в настоящее время. Взятые как целое они имеют по простиранию 3660 *м* и известны на глубину более 1220 *м*.

Минеральная зональность заметно развита в этих жилах. Вертикальные изменения проявляются вблизи поверхности. Это облегчается тем, что чрезвычайно крутой склон долины сечет последовательные члены жильной серии, расположенные на различных уровнях зональной структуры района. В жиле, обнажающейся в наивысшей точке и образованной, по всей вероятности, на 300 или более метров ниже поверхности, существовавшей во время рудоотложения, развиты гипогенные серебряные руды типично эпитермального характера, содержащие аргентит, красную серебряную руду и другие обильные сульфосоли с пиритом в кремнистом и пиритовом жильном материале; эти руды в прошлом были объектом разработки. Руда истощилась на глубине нескольких десятков метров, но жильная структура продолжается в глубину с некоторым изменением минералогического состава, так что содержание металла слишком низкое в этой части для последовательной разработки.

Следующее расположенное ниже обнажение главной жилы представлено бедными непромышленными рудами, но на глубине 60—80 *м* минерализация принимает промышленный характер; руды здесь состоят из пирита, галенита, сфалерита, халькопирита, тетраэдрита, теннантита и бурнонита с жильным кварцем, кальцитом и родохрозитом. Руда отличается более крупнозернистым сложением, чем в вышележащих горизонтах; местами руды имеют полосчатое сложение, текстура их колеблется от плотной до изобилующей пустотами. Эта руда имеет типичные характерные особенности лептотермального класса. Руда этого сорта

с медленным увеличением размера зерен продолжается до самой большой известной до сих пор глубины. Она проявляется в виде широких рудных скоплений, которые немного расходятся вниз по падению; одно из них простирается на северо-восток от участка Карлос Франциско, а другое — на участок Агуас Калиентес, на юго-запад. Этот тип руды вмещает главные свинцово-цинковые запасы данного района, и о нем речь будет впереди.

По направлению к северо-востоку вдоль жилы от рудного столба Карлос Франциско и к юго-западу от Агуас Калиентес минерализация продолжается дальше, но здесь она менее равномерная и очень быстро становится слишком бедной для разработки. Это происходит не только оттого, что уменьшается количество главных минералов, но и оттого, что минерализация вообще становится менее интенсивной и более низкотемпературной; в минералогическом составе начинают преобладать реальгар, аурипигмент и в конце концов антимонит. Этот периферический тип руд классифицируется как эпитермальный.

В промежутке между двумя главными рудными столбами жила, которая здесь называется Консуэло, характеризуется грубой структурой и сильно серицитизированными зальбандами. На верхнем и среднем горизонтах благодаря неравномерному и бедному содержанию это рудное тело было недостаточно разведано, чтобы можно было дать его подробное описание. В более глубоком центральном участке его встречены очень горячие воды. Совершенно независимо от упомянутых выше обстоятельств, причина которых может быть по-разному истолкована, жила этого участка рудника показывает по характеру своих минералов, что халькопирит заметно увеличивается и что она является «горячим центром» зонального рудного тела. Эту более глубокую, внутреннюю зону медной руды следует, по всей вероятности, классифицировать как мезотермальную. Если этот тип руды продолжается в глубину, то тогда можно ожидать появления более высокотемпературных ассоциаций. Имеются некоторые признаки сходства с медными рудами Морокоча, которые большинство исследователей считают «более глубинными» отложениями, чем Касапалка.

Общее распределение минеральных компонентов и характерные особенности главных рудных тел указываются на фиг. 47.

Ниже приводится гипогенный минералогический состав месторождения в целом, включающий как изобильные, так и редкие минералы. Возможно, что к этому списку будут сделаны дальнейшие добавления, по мере того как будут расширяться микроскопические исследования.

Аргентит	Галенит	Арсенопирит
Прустит	Сфалерит	Гюбнерит
Пираргирит	Тетраэдрит-теннантит	Кварц
Полибазит	Джемсонит	Кальцит
Геокронит	Бурнонит	Родохрозит
Стибнит	Буланжерит	Барит
Реальгар	Халькопирит	Родонит
Аурипигмент	Борнит	Серицит
		Хлорит

Вследствие глубокой и быстрой эрозии супергенные минералы весьма редки; тем не менее вблизи выходов имеются сульфиды, окислы, карбонаты, сульфаты и силикаты.

Свинцово-цинковые руды. Необходимо привести некоторые сведения в отношении структуры жил в тех местах, где встречается наибольшее количество свинца и цинка. В разрезе Карлос Франциско и в разрезе Агуас Калиентес группы жил, описанные под этими названиями, представлены рудными телами, расположенными почти параллельно и приуроченными к более длинным или более коротким трещинам, расположенным отчасти ступенчато или кулисообразно как по простиранию, так и по падению. Это не является следствием какого-либо нарушения первоначальной одной линейной структуры, но является следствием способа образования трещин. В центральном участке, называемом Консуэло, господствует простая жила. Минерализованная трещина может переходить в тонкий пиритовый прожилок и в то же время подобное же рудное скопление может возрасти до нескольких метров в левой стенке. Это различие, возможно, является следствием иного характера пород, пересекаемых жилами, но все же вероятнее всего оно является следствием характера трещинообразующих напряжений.

Этот непостоянный характер жильных структур, так же как и косое положение по отношению осей складок, возможно, объясним предположением, что главные складкообразующие стрессы, в результате которых возникли и жильные трещины растяжения, представляли не чистое лобовое сжатие, а скорее пару сил, производившую небольшое вращение. Вдоль жильной трещины Карлос Франциско — Консуэло происходили небольшие дорудные и послерудные нарушения. Небольшие нарушения имели место в трещинах Агуас Калиентес, причем некоторые из них были послеминеральными. Характер жильных трещин несколько варьирует в зависимости от характера вмещающей породы. Жилы имеют тенденцию быть более правильными в сланцах, чем в ломких песчаниках, кремнистых конгломератах, вулканических породах и порфирах. Однако расщепления висячего бока, немного

отклоняющиеся от главной жилы, сравнительно часто встречаются в более хрупких породах; при этом апофизы обладают вначале мощностью и интенсивностью минерализации такой же, как основная структура, но на расстоянии десятка метров они становятся совершенно незначительными.

Открытые пустоты, инкрустированные главным образом кварцем, кальцитом и иногда кристаллами сульфидов, обычно встречаются на всех горизонтах; очень характерна крустификационная полосчатость. Обломки боковых пород обычны в виде включений в самой руде. Эти обычные признаки отложения на умеренной *глубине соответствуют и тем показаниям, которые* мы получаем из минералогии и текстурных особенностей.

На участке Карлос Франциско в течение долгого времени предполагали, что диагональный сброс, проходящий через жильную структуру и смещающий ее вправо, произошел после минерального *отложения* и сместил руду. В настоящее время известно, что сброс сместил группу трещин до отложения руды. В тех местах, где главная структура отклоняется от нормального простирания, вблизи нарушения руда не несет следов дробления и трещин и следует в виде тонких линз вдоль сбросовой глины трения между смещенными блоками трещинной структуры. Над нарушением и к северо-востоку от него минерализация несколько менее богатая и правильная. Это не является следствием неумения распознать и проследить сброшенное продолжение больших по размеру и лучших рудных тел; скорее это обстоятельство можно объяснить тем фактом, что нарушение действовало как барьер, задерживающий проникновение рудообразующего раствора в сегмент трещины над нарушением.

Несмотря на все эти отклонения от геометрического идеала, жилы Касапалка обычно простые и выдержанные. Их нетрудно проследить, они не доставляют неприятностей при разработке и содержат сплошные сульфидные руды. Выше рудника они имеют в среднем мощность примерно до 1 *м*, с отклонением до удвоенной величины.

В течение всей своей истории Касапалка прежде всего являлась серебряным рудником с подчиненным значением добычи свинца и небольшого количества меди. Это являлось скорее следствием (за исключением самых верхних разработок) экономического положения, чем характера руды. За последние годы улучшение селективной флотации и увеличение цен на металлы, особенно на цинк, сделали возможной массовую разработку жил и добычу четырех главных металлов. Правда, этому экономическому улучшению способствовало и увеличение добычи меди на глубине из жилы Консуэло.

Равным образом медленно возрастало с глубиной и количество цинка. Однако количество серебра на глубине поразительно

выдерживается и среднее содержание его для всего рудника в целом остается неизменным. Содержание металлов за последние годы, при ежегодной добыче около 135 000 *т* руды, примерно является следующим: медь — 1%, свинец — 5%, цинк — 9% и серебро — 368 *г/т*. Свинец представлен преимущественно галенитом, но некоторые участки руды богаты также бурнонитом. Медь выделяется главным образом в форме тетраэдрита-теннантита и халькопирита, цинк — в виде сфалерита. Процесс обогащения показывает, что бо́льшая часть серебра заключена в тетраэдрите-теннантите, но значительная часть его ассоциируется с галенитом.

Когда в Касапалке в 1921 г. началась систематическая работа, то уже стало очевидно, что руды промышленного значения ограничиваются некоторыми определенными рудными столбами в этой мощной и протяженной структуре, причем внутри этих столбов, в свою очередь, имеются еще более богатые рудные гнезда. Так как было очевидно, что жилы проходят через целый ряд боковых пород, которые все имеют различный генезис и характер, то предполагали, что между содержанием металла в руде и составом вмещающей породы должна быть правильная зависимость. Тщательное исследование не подтвердило влияния химизма боковых пород на вид и характер руды. Богатые рудные скопления обнаруживаются во всех разновидностях пород, через которые проходят жилы. Правда, некоторые породы более или менее индивидуально реагировали на напряжение, которое обусловило возникновение трещин, и таким образом благодаря влиянию структуры до известной степени возникла связь между типом вмещающей породы и количеством руды.

В настоящее время разрабатывается программа работ по детальному опробованию жилы и измененных пород при одновременном их микроскопическом исследовании. Эти работы уже настолько продвинулись, что можно предположить на основании вырисовывающейся зональной структуры и интенсивности минералообразования, что жилы питались растворами, поднимающимися диагонально с севера вдоль двух главных путей в плоскости изломов. Частичное отклонение потока дорудными тектоническими нарушениями площади Карлос Франциско подтверждается минералогическими исследованиями, так же как и очевидными выводами из их структурного распределения.

Таким образом, до сих пор разведанные свинцово-цинковые руды продолжаются в глубину приблизительно на 1220 *м* с незначительными изменениями в характере по вертикальному направлению и достигают глубины 1340 *м* ниже обнажений верхней эпитермальной серебряной зоны. Это глубокое протяжение преимущественно непрерывных промышленных руд является необычным для месторождений лептотермального характера. На-

сколько глубоко оно продолжается далее, можно только предполагать. Если очень медленную скорость изменения в глубину, которая до сих пор была констатирована, взять за основу для предсказания того, что имеется на еще большей глубине, то можно справедливо ожидать, что предельная глубина разработки будет определена поднимающейся стоимостью главным образом из-за возрастания температуры и притока воды, а не из-за того, что материал будет становиться более низкосортной рудой.

Заключение

Все четыре района, которые были здесь описаны, обнаруживают заметные контрасты в пределах каждого из них в сравнении друг с другом. В породах, включающих рудные отложения, а также в рудных структурах этих районов проявляется широкое несоответствие. Минералогия каждого района сравнительно богата, и каждый из них содержит многочисленные виды, неизвестные или чрезвычайно редкие в других районах. Предварительное изучение легко могло привести к представлению, что эти районы являются столь различными, что между ними мало генетической общности.

Но это ни в коем случае не так. Несоответствие, которое представляется столь заметным, в действительности является или случайным, или обусловлено местной ситуацией; иногда имеет место различие такого типа, какое, например, существует между рукой и запястьем. Выдающимися чертами сходства этих рудных районов являются: во-первых, их тесная пространственная и генетическая связь с гипабиссальными интрузивами монцонитового или кварцево-монцонитового характера третичного возраста; во-вторых, постоянный зональный характер распределения металлов и минералов, независимо от характера вмещающей породы и структурных особенностей; в-третьих, благоприятные условия для галенита и сфалерита в каждой зоне, почему они и включены в этот сборник.

Многие из известных свинцовых и цинковых районов мира производят лишь небольшое количество других металлов, за исключением серебра.

Данные месторождения Перу принадлежат к менее известной категории сложных руд, доставляющих многие металлы. Эта сложность состава и характера, так же как широкое разнообразие структур, является прямым следствием их магматического, гидротермального происхождения на умеренной глубине. Хотя эти четыре района не охватывают богатого разнообразия металлогении Анд, но они являются типичными примерами этой большой провинции и указывают на ее многообразные аномалии.

ЛИТЕРАТУРА

Graton L. C., Bowditch S., Alcaline and acid solutions in hypogene zoning at Cerro de Pasco, *Econ. Geol.*, **31**, 651, 1936.

Mark W. D., Faulkner R. L., Graton L. C., Localization of certain ore bodies at Morococha, Peru, в работе Newhouse, Ore deposits as related to structural features, Princeton, 1942.

Mac Kinstry H. E., Noble J. A., The veins of Casapalca, Peru, *Econ. Geol.*, **27**, 501, 1932.

Mac Laughlin D. H., Geology and physiography of the Peruvian Cordiliera, Departament of Junin and Lima, *Bull. Geol. Soc. Am.*, **35**, 1924.

— Graton L. C., Bowditch S. I., Burrell H. C., Copper in the Cerro de Pasco and Morococha districts, Departament of Junin, Peru, *XVI Int. Geol. Congr., Copper Ressources of the World*, Washington, 1933.

— Moses J. H., Geology of the mining region of Central Peru, *Am. Inst. Min., Eng.*, **26**, 512, 1945.

Moses J. H., Recent studies of the geology of Cerro de Pasco district, Peru, *Proc. Eigth. Amer. Sci. Congr.*, 4, 673, 1940.

Schmedeman O. C., Recent studies of the geology of the Morococha district, Peru, *Proc. Eigth. Amer. Sci. Congr.*, 4, 677, 1940.

НОВЫЙ ЮЖНЫЙ УЭЛЬС

Э. ЭНДРЬЮС[1]

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БРОКЕН ХИЛЛ

Краткое содержание

Месторождение Брокен Хилл находится в породах, принадлежащих к свите Виллиама (ранний докембрий), охватывающей силлиманит-гранатово-слюдяно-полевошпатовые гнейсы, кремнистые сланцы, слюдяные сланцы и амфиболиты. Широко распространенная гранитизация привела здесь к образованию гнейса и аплита; на этой территории сильно развиты также и пегматиты. «Жильное месторождение» находится в наиболее метаморфизованной зоне и залегает согласно с сопутствующими породами, повидимому, вдоль линии дифференциальной подвижки. Рудные тела, метасоматически замещающие перемятые осадочные породы, содержат сульфиды свинца и цинка, а также некоторое количество серебра, кадмия, золота и меди. Жильная порода слагается кварцем, Mn-гранатом, родонитом, флюоритом («силикатный» тип) или кальцитом и кварцем («карбонатный» тип). «Жильное месторождение» в настоящее время прослежено до глубины 900 *м* и, повидимому, является очень перспективным.

Введение

Округ Брокен Хилл находится в штате Новый Южный Уэльс в Австралии; его центр (31°57′23″ южной широты и 141°28′15″ восточной долготы) расположен в 1100 *км* на восток от Сиднея и в 533 *км* к югу от порта Аделаида, с которыми он соединен железной дорогой.

«Жила» Брокен Хилл считается сейчас одним из самых крупных рудных месторождений мира. Стоимость полученных до сих пор сырых концентратов свинца, цинка и серебра превышает 218 000 000 ф. ст., а стоимость рафинированных металлов — свинца, цинка, серебра и кадмия — 300 000 000 ф. ст. С этой суммы были выплачены дивиденды приблизительно в сумме 56 000 000 ф. ст. Количество руды, добытой из одного участка «жилы» (менее 6 *км* длиной), составляет 64 млн. *т*, в то время как запасы руды с 1908 г. неизменно остаются на уровне 12—13 млн. *т*.

Результаты геологических исследований области Брокен Хилл, проведенных до 1923 г., опубликованы в отчетах Эндрьюса (1922—1923 гг.). Позднее очень ценные материалы были

[1] E. C. Andrews, Геологическая служба, департамент Нового Южного Уэльса.

помещены в отчетах Кенни (1928 г.) и Густафсона, хотя отчет последнего предназначался только для внутреннего пользования.

География

Топография. Местность Брокен Хилл при приближении к ней с востока имеет вид обширного щита, поднимающегося до высоты 300 *м* над уровнем моря (в собственно Брокен Хилле) и достигающего максимальной высоты около 500 *м* выше уровня моря в Маунт Роуб, где уступ, образованный обращенной к западу поверхностью сброса, поднимается на 320 *м* выше аллювиальной равнины. Этот уступ, повидимому, в основном был сформирован в третичное время и подвергся омоложению в плейстоцене.

Геология

Горные породы. Рудные месторождения приурочены к самым древним породам района. Эти породы, которым Моусон в 1912 г. (Эндрьюс, 1922, стр. 18) дал название свиты Виллиама, состоят из щита древних осадочных пород, основных лав и интрузивных пород, подвергшихся эрозии и перекрытых более молодыми отложениями.

Этот щит, или «древний массив», обнажается на поверхности на площади не более 5000 *км*. На север и северо-запад от Брокен Хилла он исчезает под мощными сериями кварцитов, песчаников, массивных тиллитов и доломитизированных известняков, повидимому, молодого докембрийского возраста. Там, где эти осадки покоятся на самом щите, они подверглись незначительной складчатости и метаморфизму, там же, где они круто падают от щита, как, например, на севере, они сильно складчаты и смяты. Верхнедокембрийская толща залегает, в свою очередь, под складчатыми осадочными породами, принадлежащими, повидимому, к различным отделам нижнего палеозоя. Все эти толщи перекрываются в северном, северо-восточном и западном направлениях морскими меловыми осадками, содержащими эрратические ледниковые валуны девонских и докембрийских осадочных пород. К югу и востоку древний щит постепенно уходит под горизонтально залегающую серию известковых, песчанистых и аллювиальных осадков, относящихся к третичному, плейстоценовому и более позднему времени.

Этот «древний массив», или щит, условно может быть отнесен к нижнедокембрийскому времени. Он представляет собой грандиозный геологический комплекс, состоящий главным образом из сильно дислоцированных метаморфизованных глин, сланцев, песчаников и родственных им пород, среди которых в заметном количестве развит кислый и основной изверженный материал.

Основной горообразовательный период, сопровождаемый магматическими интрузиями, повидимому, следовал за отложением указанных выше осадочных серий. Породы, подвергшиеся складчатости в этот период сжатия, были интрудированы многочисленными крупными дайками долерита, которые частью залегали согласно, а частью были ориентированы вкрест простирания сложенных в складки осадочных и более ранних магматических пород.

После длительного периода эрозии, обусловившего размыв почти всех осадочных и магматических пород, проявляющихся в более глубинной осевой части древней геосинклинали, область опустилась снова и была покрыта толщами кварцитов, песчаников, тиллитов и доломитовых известняков, повидимому, принадлежащими по возрасту к верхнему докембрию. Эту толщу пород Моусон называет системой Торрованги (Эндрьюс, 1922, стр. 63).

Метаморфизм. Особый характер и расположение интенсивного метаморфизма серии Виллиама наводят на мысль о том, что щит Брокен Хилл расположен на том месте, где породы подверглись действию сильного метаморфизма, обусловленного значительным местным повышением температуры, на значительной глубине в условиях большого давления. Эта локальная область интенсивного изменения может быть названа «очагом Брокен Хилл».

Длинная ось «очага» занята главной рудной жилой и ее продолжением на северо-востоке и юго-западе. Интенсивность изменения по мере удаления от жилы уменьшается во все стороны, особенно перпендикулярно к ее простиранию. Глины и песчаники, занимающие зону наибольшего метаморфизма, были изменены до силлиманит-гранато-слюдисто-полевошпатовых гнейсов, слюдяных сланцев, кремнистых сланцев, кварцево-слюдистых сланцев и кварцитовых кристаллических сланцев, заметно пегматитизированных. Широко распространенная гранитизация является характерной чертой метаморфизма, сопровождавшегося образованием аплитов и особых форм гнейсов, которым приписывалось, а некоторыми исследователями приписывается и теперь, магматическое и интрузивное происхождение.

На расстоянии нескольких километров от осей главного изменения силлиманитовые гнейсы, пегматитизированные кварциты и гранитизированные осадки переходят в яснослоистые хлоритоидные, серицитовые, ставролитовые, хиастолитовые и андалузитовые сланцы и песчаники.

Я отсылаю читателя к очень ценным петрографическим отчетам Броуна (Эндрьюс, 1922, приложение I) и Стиллуэлла (Эндрьюс, 1922, приложение II). Эти подробные отчеты оказали огромную помощь в составлении общей сводки 1922 г. по месторождению Брокен Хилл и представляют собой великолепный

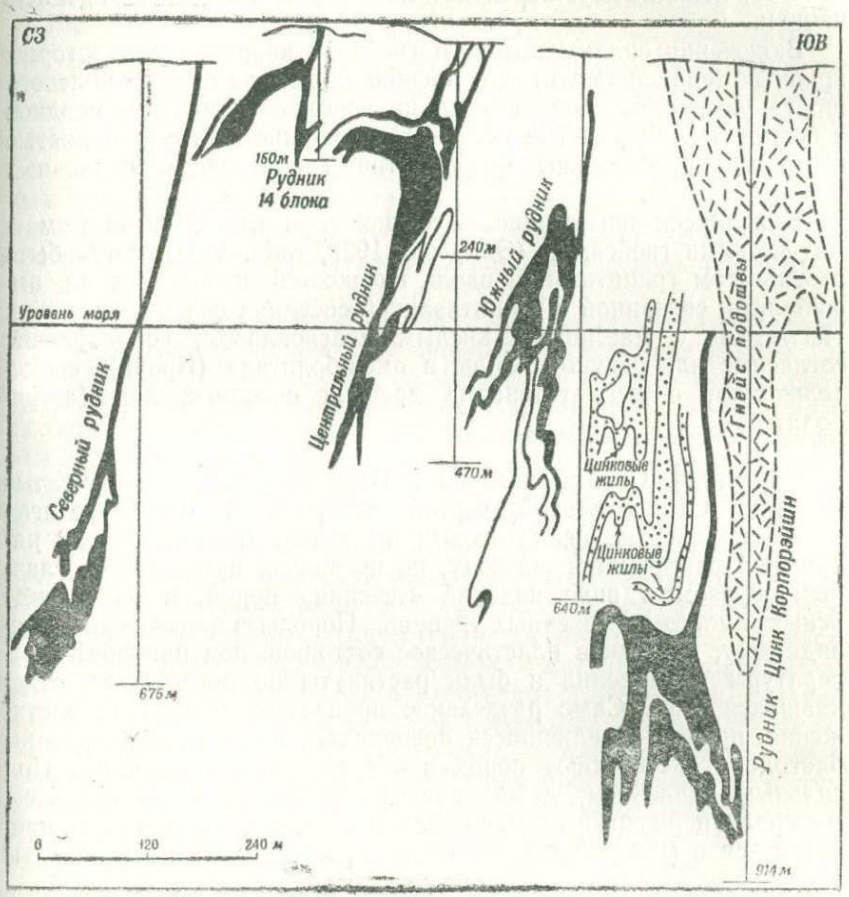
материал для руководства в будущей работе, который поможет разрешить ряд геологических проблем месторождения. Стиллуэлл, как следует из его отчета, твердо держится того мнения, что некоторые массивные гнейсы, по виду магматического происхождения, по существу являются не чем иным, как измененными осадками (Эндрьюс, 1922, стр. 374—375). Броун (Эндрьюс, 1922, стр. 331) относительно проявления амфиболитов говорит: «Они большей частью имеют облик пластовых залежей, и можно было бы считать их сильно метаморфизованными лавами и туфами, но тот факт, что в некоторых случаях они (амфиболиты) образуют дайки, секущие гранито-гнейсы, определяет их интрузивный характер». Автор вполне присоединялся к этому мнению, когда составлял отчет 1922 г., так как это мнение основано на знании характерных особенностей облика, свойственного пластовым интрузиям первичного очкового гнейса; по наблюдениям, плоскости напластования сопутствующих осадков нигде не перекрываются изверженным гранито-гнейсом.

Пегматиты образуют очень сложный комплекс. Броун (Эндрьюс, 1922, стр. 342) подразделяет пегматитовые образования на несколько групп: сильно метаморфизованные пегматиты, содержащие в изобилии силлиманит; пегматиты с преобладанием натриевого полевого шпата и пегматиты, содержащие зеленый полевой шпат. Дальше он пишет: «Отличительной чертой месторождения Брокен Хилл является огромное распространение пегматитов и аплитов... Мощность некоторых из этих силлей достигает сотен метров. Местами можно видеть, как пегматиты захватили коренную породу, а вблизи устья речки Мунди Крик наблюдаются удлиненные, параллельно расположенные массы кристаллических сланцев, полностью поглощенные пегматитом...»

Относительно возникшей, таким образом, проблемы — что же является магматическими породами интрузивного типа, что лавами и что представляют собой гранитизированные осадочные породы — среди исследователей, занимающихся проблемой Брокен Хилла, существует единодушное мнение. Именно, что очковый гнейс Моусона и его разности проявляются в виде крупных интрузивных линз в центральных частях «очага», но залегают, однако, в строгом согласии с плоскостями напластования ассоциированных с ним осадочных пород. На расстоянии нескольких километров от центра «очага» интрузивные гранитные линзы, залегающие среди гораздо меньше измененных осадков, не содержат порфировых и гнейсовых элементов.

Такое же единодушное мнение существует и в отношении интрузивной природы крупных долеритовых даек доверхнекембрийского возраста, которые секут и осадочные породы и амфиболиты.

Другой вид интрузий представлен повсеместно встречающимися послойными инъекциями (lit par lit) пегматитов в пределах центрального «очага».



Фиг. 48. Разрезы через жильное месторождение Брокен Хилл.

Однако такие весьма обычные породы, как «кварциты», «амфиболиты», аплитовые гнейсы и пегматиты, большой мощности и длины, повидимому, представляют собой просто осадки, основные лавы и близкие им материалы, подвергшиеся гранитизации и пегматизации. Они тянутся на километры, сохраняя на всем протяжении полное согласие с реликтами плоскостей напластования ассоциированных с ними, но крайне измененных осадочных пород.

Так, «кварциты» более центральных частей «очага», вероятно, являются пегматитизированными кремнистыми песчаниками, которые в расстоянии нескольких километров от «очага», повидимому, переходят постепенно в яснослоистые песчаники.

Включения силлиманитового гнейса и кварцита в некоторых крупных телах пегматитов с преобладанием калиевого полевого шпата указывают, повидимому, на неполное изменение осадков в пегматиты. «Зернистые пегматиты, похожие на грубозернистые аплиты», представляют особый тип гранитизации осадочных пород.

Кажущиеся «интрузивные» соотношения амфиболитов с «магматическими гнейсами» (Эндрьюс, 1922, табл. VIII) могут быть результатом гранитизации вдоль плоскостей напластования амфиболита, связанной с гранитизацией соседних осадочных пород. Пегматиты с массивным кислым плагиоклазом, «образующие согласные или секущие жилы в амфиболитах» (Броун), свидетельствуют о пегматитизации древних основных лав (амфиболитов).

Структура. Породы комплекса Виллиама сложены в сжатые складки. Отличительной чертой центральной части «очага» является развитие пегматитовых инъекций. Доказательства нарушений встречаются повсюду, но последние проявляются главным образом в виде явлений «течения» пород, а не в виде ясных и четко выраженных трещин. Породы в зонах сброса, повидимому, пришли в пластическое состояние под влиянием температуры и давления и были растянуты по поверхности отделившихся масс. Само разделение произошло вследствие растяжения, причем отделившиеся поверхности были сцементированы благодаря «истечению» пород в образовавшиеся трещины. Под сильным давлением, действовавшим во время этого процесса, минералы первичных глин, сланцев и песчаников стремились превратиться в минералы более плотные, чем обычные компоненты этих пород.

В тех участках щита, которые расположены в нескольких милях от центра «очага», нарушения имеют тенденцию приобретать характер надвигов. Однако все нарушения, независимо от их характера — будь то зоны течения пород или надвиги, — обладают довольно крутыми углами падения, всегда связаны с зонами дробления, заполненными кварцево-слюдяными и серицитовыми сланцами. Биотит и хлоритоид, ставролит, пирит, гранат, кварц в форме «глазков» вместе с пегматитами обычны также в плоскостях сбросов или в тектонических зонах. Смещения по некоторым из наблюденных нарушений значительны; в одном случае наблюдалось смещение амплитудой около 7 *км*.

Рудные месторождения

Рудная жила. Главная жила Брокен Хилла протягивается вдоль длинной оси зоны наиболее ярко выраженного метаморфизма «очага» Брокен Хилл. Она простирается согласно местному простиранию вмещающих осадочных пород и выходов магматических пород, т. е. приблизительно в северо-восточном направлении. Вмещающие породы представлены мощной толщей очковых гнейсов, пластинчатых гнейсов, основных лав (амфиболитов), силлиманит-гранатово-слюдяно-полевошпатовых гнейсов, массивных гранатизированных и гранитизированных осадков, причем последние прорезаны извилистыми прожилками пегматита, согласными с простиранием первоначальных плоскостей напластования.

На протяжении приблизительно 3 *км* рудная жила обнажается в виде огромной темной марганцовистой железной шляпы. За пределами этого обнажения продолжение «жилы» может быть прослежено на расстояние нескольких километров по выходящей на поверхность узкой зоне «гранатово-магнетитового песчаника», содержащего в небольшом количестве цинковую шпинель. С «песчаником» ассоциирует своеобразный пегматит с зеленым полевым шпатом.

Эта длинная полоса, повидимому, отмечает дифференциальные движения двух больших толщ измененных осадочных пород. Задача исследования, нелегкая сама по себе, затрудняется следующими моментами: 1) отсутствием достаточно легко различимых маркирующих горизонтов, подобных массивным конгломератам, грубым песчаникам или известнякам; и висячий, и лежачий бока слагаются главным образом основными лавами с относительно тонкими и сильно измененными прослоями глины, глинистого сланца и песчаника; 2) согласным простиранием видимого сброса или сколовой зоны с плоскостями напластования пород; 3) отсутствием каких-либо определенных признаков сброса или течения пород в самых нижних выработках рудника, заложенных в центральных частях жилы (см. поперечные разрезы).

Рудные тела промышленного значения приурочены к этой вытянутой, отчетливой, повидимому, сколовой зоне. Они являются прекрасным примером замещения рудой и жильным материалом осадочных пород, сложенных в крупную складку волочения. Прилагаемые разрезы иллюстрируют положение знаменитой жилы в ряде последовательных сечений с севера на юг на расстоянии 5—6 *км*.

Эти разрезы были получены от различных горнодобывающих компаний. По сообщению управляющего Южным рудником, восточные рудные тела, показанные на разрезе и залегающие ниже горизонта 500 *м*, не были подсечены, а оконтуривались

при помощи алмазного бурения, которым широко сопровождались разведочные работы.

Сложная складка волочения, замещенная рудой и жильными минералами, показывает извилистое меридиональное простирание. От центрального участка, т. е. от ее выхода на поверхность, она была прослежена в северном направлении до глубины свыше 840 *м* и на юг до глубины 100 *м* (приблизительно).

На север от Северного рудника, насколько это могло быть установлено разведкой, повидимому, продолжается сколовая зона большого протяжения. В пределах этой узкой, но непрерывной зоны встречаются разобщенные линзы бурого железняка, содержащие небольшие количества довольно низкопроцентной руды. В направлении на юг проявление промышленных рудных тел (за пределами арендных участков Zinc Corporation) представляется гораздо более обещающим, что подсказывается и изучением черт поверхности, и результатами проведенных разведочных работ.

Сами рудные тела состоят главным образом из сульфидов свинца и цинка; меньшее, однако все же промышленное значение имеют серебро, кадмий, золото и медь. Процентные содержания металлов в руде, добытой за 1945 г., следующие: свинца 14,4%, цинка 11,7%, серебра 167 *г/т*.

По отдельным более крупным рудникам эти цифры таковы:

Северный Брокен Хилл: свинца 15,1—16,8%, цинка 11,8—13,7%, серебра 223—277 *г/т*.

Южный рудник: свинца 12,75—13,2%, цинка 11,8—12,3%, серебра 191,3—195 *г/т*.

Цинк Корпорэйшн: свинца 15,2—16,2%, цинка 11,0—11,9%, серебра 107—110 *г/т*.

Руды подразделены горнодобывающими компаниями на два главных типа: на руды с силикатной жильной породой и на руды с карбонатной жильной породой. Силикатный жильный материал состоит главным образом из кварца, марганцовистого граната (гранаты коренной породы — преимущественно железистые) и родонита с подчиненным количеством флюорита; карбонатная жильная порода состоит главным образом из кальцита с кварцем. Вдоль жилы развивается замечательный пегматит с обильным зеленым полевым шпатом. Эта интересная порода относится по времени к периоду, предшествовавшему отложению рудной жилы, поскольку она местами претерпела полное замещение рудой и жильным материалом.

Общий вид замещенных осадочных пород со складками волочения подсказывает существование антиклинальной структуры в центральных частях жилы, тогда как северное и южное ее продолжение вызывает представление о структуре синклинальной.

Виды на будущее. При попытке дать обоснованный прогноз на будущее этого огромного рудного поля нужно уделить особое внимание следующим фактам:

1. Рудное поле содержит одно крупное жилообразное рудное тело наряду с многочисленными мелкими рудными телами, бо́льшая часть которых по своей природе несколько сходна с главной «жилой». Рудные тела, залегающие на расстоянии многих километров от центра очага, больше приближаются по характеру к истинным жилам, с развитием очковых и других чечевицеобразных текстур, проявленных вдоль зон дробления.

2. Главная жила и большое количество гораздо более мелких рудных тел обнажаются на поверхности щита. Это исключительное рудное скопление было обнаружено случайно, благодаря обнажившемуся в результате эрозии участку в пределах описываемой площади. Поэтому вряд ли есть надежда на открытие в этой области другого такого же богатого оруденения, как месторождение Брокен Хилл.

3. Жила Брокен Хилл проявляется в виде мощного обнажения, которое на поверхности в северо-восточном и юго-западном направлениях переходит в незначительные, по сравнению с ней, рудные тела.

4. Большой центральный выход «жилы» оканчивается на глубине в виде сложно построенной кривой (см. разрез фиг. 48). Линия границы рудного тела на этой глубине согласна с напластованием осадочных пород. Первые разработки начались на этой центральной части, и по мере истощения с глубиной отдельных ее участков стали возникать сомнения в рентабельности северо-восточного и юго-западного продолжений рудного тела. Уже в первый период эксплоатации месторождения оно начало вырисовываться в виде огромной центральной массы, выклинивающейся уже на незначительной глубине, замкнутой вмещающими породами и уменьшающейся в мощности в обе стороны от главного обнажения. Горняки представляли себе рудное тело в виде огромной массы, похожей по облику на диплодока, с массивным центральным телом, выступающим горбом на поверхности, и уходящими на северо-восток и юго-запад хвостом и шеей, образующими тонкие рудные тела промышленного значения.

5. Когда автор посетил месторождение в 1908 г., запасы руды месторождения Брокен Хилл были оценены приблизительно в 13 000 000 *т*. В 1911 г. тоннаж запасов руды оставался почти на том же уровне, но так как было замечено, что руда центральных участков кончалась уже сравнительно на небольшой глубине, то положение рудника было признано критическим. Однако на других участках, т. е. на юг и на север от центральной рудной массы, запасы до 1922 г. оставались на уровне 13 000 000 *т*. К этому времени общее количество добытой руды выражалось

цифрой 32 000 000 *т*. Общее количество вынутой руды к данному времени (1946 г.) составляет 64 000 000 *т*. Другими словами, до 1922 г. был получен тоннаж руды, превышающий 32 000 000 *т*, а средняя добыча на протяжении 24 лет превысила 1 250 700 *т* в год. Несмотря на это, рудные запасы в данный момент исчисляются от 12 000 000 до 13 000 000 *т*. Истощение запасов компенсируется глубокой разведкой, которая велась в северо-восточном и юго-западном направлениях. Рудное тело, каким оно представляется теперь, своим видом скорей напоминает гигантского питона с волнистыми извивами тела, чем диплодока с раздутой средней частью, узкой и длинной шеей и кнутообразным хвостом.

6. Нужно также не забывать, что запасы руды оцениваются различными добывающими предприятиями очень консервативно. Опыт горных разработок показал, что извлечение «достоверных запасов» выразилось в превышении добычи на 25% против подсчета запасов месторождения.

7. Геофизические и горные методы разведки последнего времени указывают на продолжение промышленных рудных тел на юг от действующих выработок Цинк Корпорэйшн. Отсюда можно видеть, что перспективы на будущее очень благоприятны, особенно если высокие цены на свинец, цинк, серебро и кадмий будут держаться, что весьма вероятно, принимая во внимание известные мировые запасы свинцово-цинковых месторождений.

ДИСКУССИЯ

Я. Густафсон. Я с интересом прочел сводку по геологии Брокен Хилла, составленную Эндрьюсом, причем, конечно, у меня имеются все его прежние статьи, посвященные этому вопросу, в том числе и обширная первая работа на эту тему, выполненная им и его сотрудниками 25 лет тому назад, — «Геология округа Брокен Хилл».

Самым новым и наиболее подробным геологическим исследованием жильных месторождений Брокен Хилл и их непосредственного окружения является работа, организованная Центральной геологической службой и компанией Zinc Corporation под моим руководством в 1936—1939 гг. Моими сотрудниками, Г. Бареллом и М. Гарретти, были проведены статистическое изучение и лабораторные исследования минерализации. В 1947 г. я возвратился на Брокен Хилл и пробыл здесь 15 месяцев в качестве консультанта, так что мои геологические данные в отношении этого округа относятся к самому последнему времени. Надо сказать, что в настоящее время мы работаем над составлением монографии по геологии Брокен Хилла, которую намерены опубликовать одновременно в Австралии и в США. В этой книге будут подробно обсуждены геологические проблемы. Некоторые из них представляются спорными; они лишь поверхностно затронуты Эндрьюсом в его последней краткой статье и глубже проанализированы в его монографии, опубликованной в 1922 г. Ввиду предстоящего выхода в свет вышеупомянутой работы мы ограничиваемся в настоящих наших замечаниях лишь кратким упоминанием о том, что было сделано сотрудниками Геологической службы в области изучения геологии месторождения Брокен Хилл. Как это увидит читатель, во многом наши взгляды сходятся с мнением Эндрьюса; однако данные последних наших работ диктуют необходимость внесения в некоторые из более ранних наших взглядов на геологию данного округа существенных изменений.

1. Детальная съемка и исследование структуры свинцово-рудных тел Брокен Хилла показали, что они образовались в результате селективного замещения двух тесно примыкающих друг к другу благоприятных интенсивно дислоцированных слоев. Они известны под названием чечевицеобразной залежи № 3 (нижней) и чечевицеобразной залежи № 2 (верхней). Цинковые жильные месторождения, занимающие более высокое стратиграфическое положение, возникли также в результате селективного замещения других благоприятных слоев.

2. Руду, содержащуюся в каждом из двух свинцово-рудных горизонтов, а также не менее чем в двух из трех известных в настоящее время цинково-рудных горизонтов, нетрудно отличить от других. Каждая из них обладает характерным для нее комплексом жильных минералов, причем по крайней мере свинцовая руда отличается только ей одной свойственным соотношением металлов. Так, например, для чечевицеобразной рудной залежи № 3 характерным минералом является кальцит, при сравнительно небольших величинах отношений Zn : Pb и Ag : Pb. По соотношению металлов цинковые жильные месторождения резко отличаются от свинцовых, но пока еще имеется слишком мало данных, чтобы сказать, можно ли на основании этих соотношений разграничивать отдельные цинковые месторождения. По вопросу о соотношениях металлов проведено много статистических работ. Знаменательно то, что зональность здесь очень мало связана с явными и резкими минералогическими изменениями в отдельных точках месторождения, равно как и с сильными изменениями в соотношениях металлов.

3. Ассоциации пород, описываемые Эндрьюсом, были подразделены на 17 стратиграфических единиц; была установлена их последовательность. При определении структуры территории месторождения оказалось, что породы по обе стороны рудной жилы хорошо коррелируются в соответствии с этим подразделением.

4. Поскольку геологические проблемы в Брокен Хилле, имеющие важное экономическое значение, относятся в первую очередь к вопросам структуры, Геологическая служба подвергла при помощи новейшей техники широкому детальному исследованию структуры в районе с чрезвычайно интенсивной складчатостью (не встречавшейся нигде за исключением разве только месторождения Хомстэйк, Южная Дакота). К главным изученным здесь типам структур относятся: а) складки, представляющие собой результат сильнейшего сжатия; сжатие деформировало пластически в этом округе каждый кубический сантиметр породы (в том числе «второстепенные складки», повторно смятые под действием исходных деформирующих сил) и б) позднейшие сбросы и «прогибы», возникшие в результате действия более поздних, менее сильных деформирующих сил, проявившихся местами в ослабленных пунктах, сместивших и деформировавших складки. Данные структурного анализа обнаружили своеобразные угловые соотношения между главными и второстепенными складками, а также значительные вариации углов падения в смежных складках под влиянием вращательного усилия во время складкообразования.

5. На основании изучения минералогии и структуры были выдвинуты новые положения в отношении парагенезиса руд, а также структурных и стратиграфических факторов контроля отложения руды этой области. Было признано, что междуминерализационная трещиноватость сыграла роль в локализации рудных столбов в рудных формациях. Значительному пересмотру должны быть подвергнуты также и взгляды на глубину и время рудообразования, а также на его связь со складкообразованием и региональным метаморфизмом. Так, например, Эндрьюс в своих ранних работах полагал, что глубина рудообразования была велика, что существовала генетическая связь между рудной минерализацией и региональным метаморфизмом и что как изверженные породы, так и руды были «интрудированы» в форме «линз» под высоким давлением. По нашему мнению, данное жильное месторождение

является гипотермальным рудным месторождением замещения, образовавшимся значительно позже складкообразования и регионального метаморфизма, на меньшей глубине, при меньшем давлении и при менее высокой температуре.

ЛИТЕРАТУРА

Andrews E. C., Geology of the Broken Hill district. *Memoirs, Geological Survey, New South Wales, Geology*, 8, с детальными петрографическими разделами: W. R. Brown (Appendix I) и E. I. Stillwell (Appendix II), 1922.

— Supplementary note to Geology of Broken Hill, *Memoirs, Geological Survey New South Wales, Geology*, 8, 1922.

Kenny E. J., Geology of Broken Hill, *Mineral industry, New South Wales*, 1928.

КВИНСЛЕНД

С. КАРТЕР[1]

ГЕОЛОГИЯ, ПАРАГЕНЕЗИС И ЗАПАСЫ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАУНТ АЙЗА

Краткое содержание

Серебряно-свинцово-цинковые месторождения Маунт Айза находятся в кремнистых, доломитизированных и слабо карбонатизированных глинистых сланцах докембрийского (протерозойского) возраста. Главному складкообразованию и взбросовым движениям сопутствовало сложное второстепенное складкообразование в тонкослоистых глинистых сланцах, а также брекчирование более массивных пластов. Кремнезем и доломит проникли в брекчию. Повторное перемещение, происшедшее позднее доломитизации, привело к образованию каналов, по которым были привнесены сульфиды. Рудные тела, имеющие промышленное значение, занимают среднюю часть минерализованной зоны, протягивающейся в меридиональном направлении на 8 *км*; они залегают в форме линз в складчатых и сколовых зонах на определенных горизонтах в тонкослоистом глинистом сланце и разделены между собой массивным безрудным глинистым сланцем. Наблюдаются три генерации сульфидов: 1) пирит с размером зерен от 0,005 до 0,025 *мм* с небольшой примесью сфалерита, халькопирита и арсенопирита; 2) сферические агрегаты пирита, пирротин, марказит, галенит, сфалерит, арсенопирит, тетраэдрит; 3) пирит (кубиками от 0,5 до 2,0 *мм*), арсенопирит, сфалерит, пирротин, галенит, тетраэдрит, полибазит, пираргирит, прустит. Запасы руды исчисляются 9 997 962 *т* с содержанием свинца 8,6% и серебра 176 *г/т*.

Геология

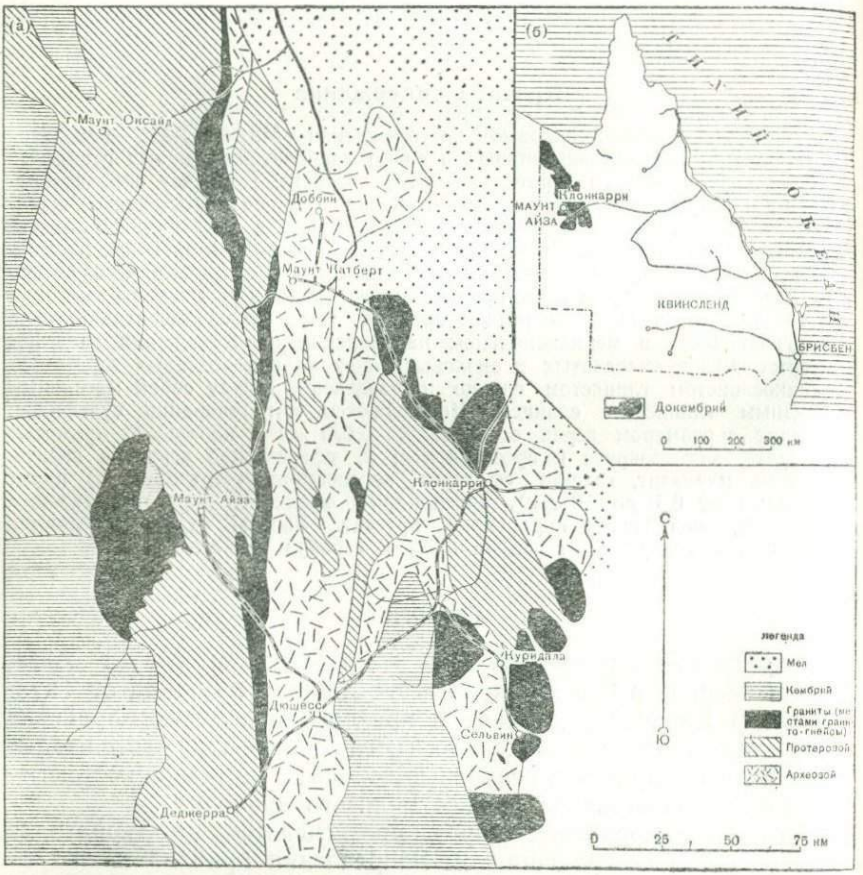
Серебряно-свинцово-цинковое месторождение Маунт Айза, расположенное в 900 *км* по железной дороге на запад от Таунсвилла в Квинсленде, лежит в пределах пояса докембрийских пород, уходящих на востоке, юге и юго-востоке под полого падающие среднекембрийские осадочные породы, а на северо-востоке — под полого залегающие осадки мелового времени.

Пояс докембрийских пород протягивается на территории Квинсленда в северо-западном направлении приблизительно на расстояние 600 *км*, варьируя в ширине от 45 до 150 *км* и более. Крутое падение и общее меридиональное простирание докембрийских пород и длительная эрозия древнего докембрийского пенеплена обусловили образование волнистого рельефа меридионального простирания.

Породы южной половины докембрийского пояса состоят из протерозойских сланцев, кварцитов, зеленокаменных пород и известняков свиты Маунт Айза, располагающихся по обе стороны

[1] S. R. Carter, старший геолог компании Mount Isa Limited.

полосы архейских гнейсов, амфиболитов, кристаллических сланцев и порфиров, которая варьирует в мощности от 25 до 40 *км*; эта полоса находится в центре докембрийского пояса и протягивается с севера на юг приблизительно на расстояние 225 *км*.



Фиг. 49. *а* — схематическая геологическая карта округа Клонкарри и *б* — обзорная карта северо-западного Квинсленда.

Вблизи контакта между архейскими породами и западной зоной протерозойских пород залегает длинная, почти непрерывная полоса интрузий гранита, простирающаяся меридионально почти вдоль всей длины обнажившегося контакта, достигая ширины 10 *км*. Является ли гранит генетически связанным с рудными телами Маунт Айза, или нет, — неизвестно. Приблизительно

в 9 *км* к западу находится ближайшее обнажение пояса гранито-гнейса, который гораздо старше рудных тел (см. фиг. 49).

Серия Маунт Айза в районе месторождения представлена свитой равномерно слоистых сланцев мощностью более 3 *км*, простирающейся меридионально и падающей на запад под углом приблизительно 60°; эта свита согласно подстилается и перекрывается кварцитами осадочного происхождения.

Рудные тела Маунт Айза залегают в сланцах на расстоянии полукилометра от западной полосы кварцитов; на участке серебряно-свинцово-цинковых месторождений развиты чередующиеся пачки тонкослоистых и грубослоистых сланцев. Ширина полосы тонкослоистых свит колеблется от 30 до 60 *м* при мощности отдельных слагающих ее прослоев от 0,5 до 3 *мм*. Свиты «грубослоистых» сланцев по общей мощности варьируют от 30 до 200 *м*, слагающие же их прослои имеют мощность от 3 до 15 *см*.

Сланцы главным образом кремнистые, переслаивающиеся с доломитовыми и слабо известковыми. Доломитовые сланцы имеют мелкозернистое сложение, они протягиваются на километры за пределы зоны минерализации, что указывает на сингенетическое происхождение доломитового материала.

Ниже излагаются геологические события, воздействовавшие на сланцы до начала рудообразования.

Главный период образования складок с вертикальным размахом до 280 *м* и сбросов с вертикальным смещением до 300 *м* имел место до отложения рудных сульфидов и был вызван юг-юго-западным надвигом; дальнейшим результатом явилось скалывание сланцев вдоль плоскостей напластования. Это движение наиболее ярко выражено на южных крыльях главных складчатых структур, особенно в тонкослоистых пластах.

Горизонты тонкослоистых сланцев реагировали на движение вдоль надвига образованием сложных мелких складок, растяжением и мелкой плойчатостью [1], сопровождаемой иногда скалыванием вдоль плоскостей напластования; некоторые члены отдельных горизонтов тонкослоистых нарушенных сланцев позже явились вмещающими породами для серебряно-свинцово-цинковой минерализации.

Свиты более мощных и массивных пластов сланцев обнаруживают гораздо менее интенсивную складчатость и более слабое проявление скольжения в результате движений надвигового типа, чем тонкослоистые горизонты, но они на бо́льших участках подверглись дроблению, растрескиванию и брекчированию. Возникшая таким путем брекчия вновь была сцементирована

[1] Под первичной плойчатостью подразумевается волнистость, образуемая первым надвигом, в отличие от вторичной, являющейся результатом главного скалывания периода второй сульфидной генерации.

кремнеземом, а позже в трещинах, образованных при повторных движениях, направленных с запада, отлагался доломит.

В Маунт Айза под термином «зона брекчирования» подразумеваются участки, содержащие настоящую силифицированную брекчию, в которой обломки сланцев окатывались один о другой, и псевдобрекчию, варьирующую от настоящей яшмовой брекчии до слегка раздробленных силифицированных сланцев. Доломит грубозернистый, серого цвета также проникает в породу в небольших количествах, заполняя трещины и образуя небольшие жилки. Иногда доломит развивается путем замещения за пределами брекчированной зоны и образует массивные доломитовые тела до 100 *м* шириной; в зоне брекчирования доломит местами полностью замещает силифицированную брекчию на участках шириной до 20 *м*.

Осевые плоскости главных складок размахом более 3 *м* в тонкослоистых сланцах падают круче, чем сами сланцы; следовательно, складчатость имеет тенденцию распространяться в породы, подстилающие сланцеватую толщу на глубине. Подобным же образом брекчиевые зоны и тела массивных доломитов падают круче, чем вмещающие их сланцы.

Вслед за образованием доломита, которое нашло отражение только в заполнении небольшого числа нескольких трещин, последовал период главных подвижек; последние хотя, в общем, и сопровождались лишь незначительными смещениями, но тем не менее всегда приурочены к плоскостям напластования и редко рассекают первичную складчатость и плойчатость. В тонких слоях, ограниченных со стороны висячего и лежачего боков более устойчивыми телами яшмовой брекчии и массивного доломита, повсеместно развивалось легкое скольжение вдоль напластования; эти подвижки с переменной интенсивностью продолжались в течение последующего периода рудообразования.

Таким образом, основные геологические особенности вмещающих пород были таковы: породы, в которых позднее развивалось оруденение, были представлены тонкослоистыми сланцами — главным образом кремнистыми, слегка графитизированными, чередующимися с пластами сингенетичного доломита. Эта толща, падающая на запад под углом 60°, была затронута первичной и вторичной складчатостью, как нормальной, так и опрокинутой; она была рассечена сбросами, характеризовалась плойчатостью, растяжением и скалыванием вдоль плоскостей напластования.

Эти сланцы, которые впоследствии должны были стать вмещающими породами для серебряно-свинцово-цинковой минерализации, были ограничены с висячего и лежачего боков пачками более массивных, обычно безрудных сланцев с их брекчированными зонами и ассоцированными с ними яшмовыми брекчиями и массивными доломитовыми телами.

Рудные месторождения

Рудные тела промышленного значения занимают среднюю часть зоны серебряно-свинцово-цинковой минерализации, которая распространяется на 7 *км* в меридиональном направлении, достигая в центре максимальной ширины около 600 *м* и несимметрично суживаясь к северу и к югу. Главные промышленные рудные линзы проявляются в зонах складчатости и скалывания в некоторых горизонтах тонкослоистых сланцев, разделенных горизонтами более мощных, обычно безрудных сланцев. Рудные растворы оказали наибольшее минерализующее действие на участках, подвергшихся наибольшему скалыванию в южных крыльях главных складок.

Наиболее крупное рудное тело в Маунт Айза — Блэк Стар — представляет собой группу линз, из которых самая значительная имеет максимальную промышленную длину почти 350 *м* и максимальную мощность 60 *м*. Эта линза обнажается на поверхности, а ее нижняя граница достигает глубины 467 *м*; она является главным источником руды месторождения Маунт Айза. В пределах 60 *м* мощностй наиболее минерализованными являются 10 *м*, прилегающие к висячему боку, и 15—30 *м* близ лежачего бока; выработки обычно приурочиваются к этим двум зонам, хотя местами и в центральном секторе сульфиды серебра, свинца и цинка присутствуют в количестве, достаточном для проведения очистных работ по всей мощности линзы. Эта линза, падающая под углом в 60° на запад, оканчивается на глубине, встретив более крутопадающее доломитовое тело, сопровождающееся в висячем боку яшмовой брекчией.

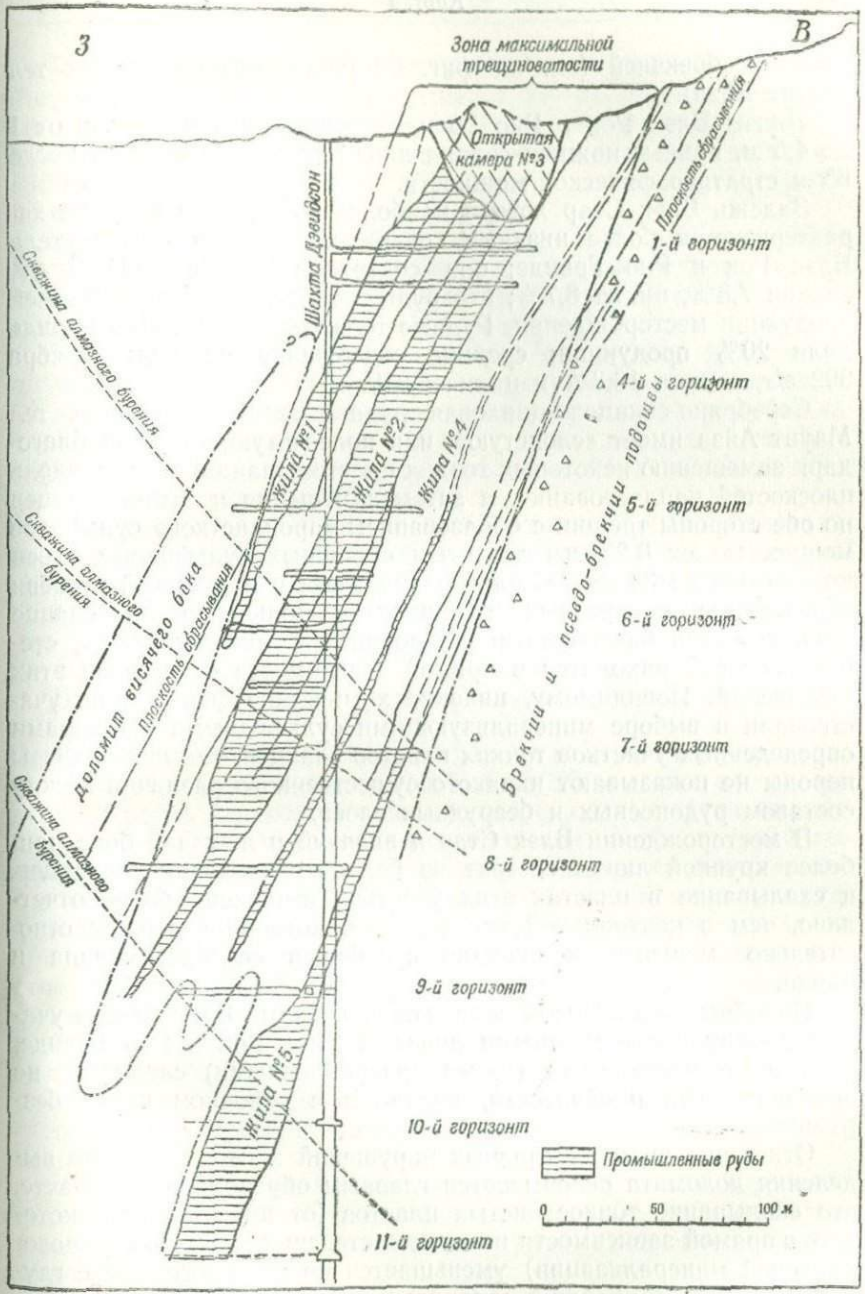
В группе рудных линз Блэк Стар есть несколько линз, выходящих на дневную поверхность, нижние границы которых еще не определены разведкой. Такие линзы находятся на расстоянии около 100 *км* от описанной выше крупной линзы, т. е. в ее лежачем боку, и имеют размеры до 650 *м* в длину, 400 *м* в глубину и до 20 *м* промышленной мощности (см. фиг. 51 — разрез рудного тела Блэк Стар).

Еще на 270 *м* дальше, в лежачем боку рудного тела Блэк Стар, и на 450 *м* дальше к югу в сланцах обнажается группа линз Блэк Рок. В ее висячем боку находится зона брекчирования, содержащая участки яшмовой брекчии, а северное продолжение этой зоны брекчирования становится лежачим боком группы линз Блэк Стар.

Еще дальше к югу, приблизительно на расстоянии 450 *м* от Блэк Рок и в 60 *м* к востоку, обнажается группа рудных линз Рио Гранде, которая на востоке ограничивается яшмовой брекчией, а на западе — не выходящим на поверхность доломитом и



Фиг. 50. Схематическая структурная карта месторождения Маунт Айза.
1—контуры рудных линз на поверхности; *2*—контуры промышленных руд; *3*—вероятное положение жилы; *4*—яшмовая брекчия; *5*—сбросы.



Фиг. 51. Поперечный разрез через рудник Блэк Стар. Разрез частично спроектирован для получения наглядной картины.

яшмовой брекчией (см. на фиг. 50 расположение рудных тел Маунт Айза).

Линзы Блэк Рок и Рио Гранде варьируют в мощности от 1 до 4,5 *м*, причем каждая группа линз занимает полосу от 25 до 65 *м* стратиграфической мощности.

Залежь Блэк Стар хотя и наиболее крупная из всех, но характеризуется более низкими содержаниями, чем рудные тела Блэк Рок и Рио Гранде; она содержит: серебра 141,75 *г/т*, свинца 7,8%, цинка 8,7%; это рудное тело доставило 80% всей продукции месторождения. Рудные тела Блэк Рок и Рио Гранде дали 20% продукции; средние содержания их руд: серебра 392 *г/т*, свинца 16,8% и цинка 5,3%.

Серебряно-свинцово-цинковая руда всех групп рудных тел Маунт Айза имеет «слоистую», или полосчатую, текстуру благодаря замещению некоторых тонких пластов сланца сначала вдоль плоскостей напластования, а затем замещения и самих сланцев по обе стороны трещин с образованием «пропластков» сульфидов мощностью от 0,25 *мм* до почти сплошных сульфидных слоев мощностью до 30 *см*. Сколы, плойчатость и в меньшей степени образование поперечных трещинок в тонкослоистом сланце создали очень благоприятные условия для минерализации, степень которой находится в прямой зависимости от степени этих нарушений. Повидимому, никакие химические факторы не участвовали в выборе минерализующими сульфидными растворами определенных участков тонких пластов сланцев, так как анализы породы не показывают никакого существенного различия между составом рудоносных и безрудных слоев.

В месторождении Блэк Стар и висячий и лежачий бока наиболее крупной линзы состоят из более тонкослоистых сланцев, и скалывание в пластах этих участков выражено более отчетливо, чем в центральной части линзы, которая содержит относительно меньшее количество сульфидов серебра, свинца и цинка.

Подобным же образом зона между линзами Блэк Стар и участок между менее мощными линзами Блэк Рок и Рио Гранде, сложенные массивными (менее раздробленными) сланцами, не проявляющими плойчатости, являются в основном почти безрудными.

Отнесение времени главных нарушений к периоду после выделения доломита основывается главным образом на том факте, что скалывание тонкослоистых пластов (от интенсивности которого в прямой зависимости находится степень серебряно-свинцово-цинковой минерализации) уменьшается по мере того, как с глубиной сланцы приходят в соприкосновение с более круто падающим висячим боком яшмовой брекчии и массивными телами «доломита».

Первоначальный уровень грунтовых вод в рудниках площади Маунт Айза находится на расстоянии 53—61 *м* ниже поверхности, выше него имело место полное окисление рудных сульфидов. Окисление местами в пористых брекчированных массах, где происходило выщелачивание доломита, а также вдоль сбросов простирается на глубину более 200 *м*.

Бóльшая часть серебра была выщелочена из руд до глубины 25 *м* от поверхности и переотложена в виде самородного серебра и местами рогового серебра в зоне вторичного обогащения, простирающейся на 25 *м* ниже зоны окисления.

За исключением довольно редких проявлений смитсонита, цинк был совершенно выщелочен на протяжении приблизительно 30 *м* от поверхности и вновь отложен в зоне, подвергшейся частичному супергенному изменению и известной под названием переходной зоны, которая продолжается приблизительно на 15 *м* ниже границы полного окисления.

Окисление галенита с замещением церусситом без выщелачивания имело место почти повсюду до верхней части переходной зоны, а пирит и пирротин были окислены еще дальше на глубину 10 *м*.

Парагенезис

В отложении сульфидных руд различается три генерации.

Первая генерация. Первым был отложен мелкозернистый пирит с величиной зерен от 0,005 до 0,025 *мм*; сначала он выделялся вдоль плоскостей напластования, а затем путем замещения сланца — по обе стороны их замещение достигает такой степени, что невооруженному глазу пирит кажется массивным, хотя его анализ редко показывает больше 75% содержания сульфида железа, а под микроскопом видны участки незамещенного сланца.

Ввиду последовательного замещения некоторых тонких пластов сланца пиритом последний в штуфах имеет вид минерала сингенетического происхождения, однако пиритовые линзы, которые содержат сульфиды серебра, свинца и цинка, по простиранию выклиниваются, уступая место почти непиритизированным сланцам за пределами рудных тел. Этот факт, а также данные микроскопического изучения указывают на эпигенетическое происхождение пирита.

Анализ пирита указывает на присутствие в нем пирротина, составляющего до 3—5% от общего количества этого сульфида железа первой генерации, хотя оно трудно определимо даже под микроскопом. Изменение цвета пирита указывает на содержание в нем пирротина в твердом растворе.

В пирите первой генерации содержится заполняющий промежутки прозрачный кремнезем, увеличивающийся в количестве по

мере увеличения количества пирита за счет сокращения остаточных сланцев, из которых он, видимо, произошел. Его содержание в концентратах было определено в 3,3 и 11,8% от общего количества кремнекислоты.

Мелкозернистый (0,005—0,002 *мм*) сфалерит, содержащий в качестве продуктов распада включения халькопирита, иногда срастается с мелкозернистым пиритом; существующие данные говорят за то, что в месторождении Маунт Айза в первый период минералообразования было отложено, вероятно, не больше 5% общего количества сфалерита.

Довольно редко встречающиеся кристаллы арсенопирита до 4 *мм* длиной, содержащие зерна пирита, равномерно распределены во всех прослойках мелкозернистого пирита. Арсенопирит был вторым по времени образования сульфидом; опробование руды на фабрике показало содержание 0,03—0,04% мышьяка.

Вторая генерация. Хотя первоначальные подвижки в широком масштабе и приводили к смещению частиц только на доли миллиметра, тем не менее они сказались очень сильно на жестких пиритизированных и силифицированных пропластках, когда стали проявляться новые движения.

Возобновление этих движений вызвало скольжение пород вдоль плоскостей напластования, образование вторичной мелкой волнистости в безрудных пластах сланцев, примыкающих к пропласткам мелкозернистого пирита, и образование сложной сетки мелких трещинок в более мощных пластах сланцев.

Помимо грубокристаллического массивного привнесенного «доломита» и пластов уже описанного мелкозернистого сингенетического доломитового сланца, в течение второй и третьей стадий отложения сульфидов образовалось большое количество доломита, сходного по составу с сингенетическим доломитом, из которого, как полагают, он и произошел в процессе перекристаллизации. Этот третий вид доломита принимает облик ромбоэдров замещения, более крупных, чем зерна сингенетического доломита, хотя и более мелких, чем кристаллы раннего «массивного» доломита. Они имеют обычно плохо образованные грани в противоположность хорошо сформированным граням кристаллов массивного доломита; эти ромбоэдры обыкновенно частично замещают сланцы и за пределами рудного тела, на некотором от него расстоянии.

Соотношение во времени между ромбоэдрическим типом доломита замещения и второй и третьей генерацией сульфидов определяется следующими фактами: 1) ромбоэдры замещаются сульфидами второй и третьей генерации, в то время как сульфиды первой генерации их не замещают; 2) расположение линз ромбоэдрического доломита больше согласуется с формой и располо-

жением других рудных тел второй и третьей генерации, чем с теми же элементами рудопроявлений первой генерации, представленной мелкозернистым пиритом.

Сульфиды второй генерации мелкозернисты, хотя и не в такой степени, как сульфиды первой генерации; существуют различия в крупности зерен между различными сульфидами и даже между отдельными индивидами одного и того же сульфида. Сульфиды второй генерации, как правило, замещают узкие пропластки доломитового сланца, а не кремнистого сланца, которые замещаются пиритом первой генерации; они также замещают более ранние сульфиды и часто заполняют трещинки в мелкозернистом пирите.

Порядок отложения сульфидов второй генерации следующий. Первым отложился пирит, часть которого, вероятно, обязана своим образованием перерастворению мелкозернистого пирита; он составляет приблизительно 20% от общего количества пирита. От пирита первой генерации он отличается следующими особенностями: 1) проявлением в виде неравномерно распределенных агрегатов округлых зерен, приблизительно в 10 раз более крупных, чем зерна пирита первой генерации; 2) отложением вдоль мелких трещинок, секущих мелкозернистый пирит, и отсутствием в нем самом трещинок, связанных с подвижками; 3) отсутствием в нем пирротина в твердом растворе.

Замещение округлых и сферических агрегатов пирита вторичным сфалеритом и галенитом весьма обычно, и хотя стадия отложения пирита до некоторой степени переходит в сфалеритовую и пирротиновую стадию отложения сульфидов второй генерации, тем не менее отнесение сферического пирита к ранней стадии второй генерации, повидимому, вполне обосновано.

Вслед за второй генерацией пирита были осаждены кристаллы арсенопирита в мелких поперечных трещинках рядом с пиритом, и их отложение продолжалось до поздних сфалерит-пирротиновых стадий отложений второй генерации.

Сфалерит второй сульфидной генерации, составляющий свыше 90% от общего количества сфалерита, впоследствии заместил сланцы, ромбоэдры доломита в сланцах, аморфный [1] кремнезем и сферические агрегаты пирита. Величина зерен сфалерита зависит от величины зерен того вещества, которое они псевдоморфно замещают. Сфалерит содержит железо в количестве 0,075% железа к одному проценту цинка.

Сопутствующие сфалериту и обычно проявляющиеся на контакте сфалерита со сланцами пластинки хлорита, повидимому, имеют своим источником сланцы, на которые воздействовали рудоносные растворы. В сфалерите второй генерации встречаются

[1] В оригинале — стекловатый. (*Прим. ред.*)

неравномерно распределенные продукты распада твердого раствора.

Хотя никаких кадмиевых минералов определено не было, тем не менее кадмий присутствует в небольших количествах в сфалеритовых рудах, образуя, повидимому, изоморфную примесь.

Пирротин второй генерации обычно ассоциирован с пиритом первой и второй генераций в соотношении 1 : 4 и сохраняет это отношение в самой руде и за ее пределами. Пирротин чаще замещает рассланцованные доломитовые пропластки, особенно там, где они примыкают к мелкозернистому пириту первой генерации или заключены в нем; в гораздо меньшей степени он замещает мелкозернистый пирит и агрегаты вторичного пирита. Пирротин второй генерации заполняет, хотя и в меньшей, но все же в значительной степени, мелкие секущие трещинки.

Период отложения пирротина часто перекрывает конец сфалеритовой стадии отложения и продолжается до галенитовой стадии с интервалом между ними, в течение которого происходило отложение только одного пирротина.

Марказит обычно присутствует как продукт замещения пирротина или в виде пластинок и кристаллов в безрудном сланце, или в виде мельчайших пластиночек (0,001 до 0,02 *мм* × 0,001 до 0,002 *мм*) с микроскопическими скелетиками пирита первой генерации. Марказит, заместивший пирротин, обычно, в свою очередь, замещается галенитом и халькопиритом второй генерации.

Галенит второй генерации встречается главным образом в виде заполнения сетки мелких трещинок, которые образовались в конце второго периода дробления. Галенит также проявляется в виде замещения доломита и сланца, заключенных в ранее отложившихся сульфидах, а также существенно замещает пирит, пирротин, сфалерит, доломиты и доломитовые пласты, сланцы, марказит и халькопирит. За исключением пирита и пирротина, галенит является самым распространенным сульфидом месторождения.

Отличительной чертой замещения галенитом мелкозернистого пирита является образование кольцеобразной («атолловой») структуры как результата неполного замещения зерен пирита галенитом от центра к периферии. Полные псевдоморфозы не так обычны, как частично образованные атоллы; встречаются также и атоллы пирита, окружающие сфалерит, пирротин и халькопирит, но гораздо менее часто, чем кольцеобразные замещения галенита в пирите. Такая атолловая структура видна только под микроскопом, и массивный пирит, по внешнему виду, повидимому, лишенный галенита, показывает содержание свинца до 6%.

Тетраэдрит, ассоциированный с галенитом и в меньшей степени с халькопиритом, отложился в виде неправильных капелек и вростков в течение периода отложения галенита и является единственным определенным серебросодержащим минералом второй сульфидной генерации. В течение второй стадии минералообразования, вероятно, было отложено не больше 60% от общего количества серебра. Халькопирит, помимо его проявления в виде мельчайших продуктов распада твердого раствора, был также отложен в мелкозернистом сфалерите первой генерации и ранней стадии второй генерации в ассоциации с галенитом и тетраэдритом в виде редко и неравномерно распределенных неправильных пятен (от 0,1 до 0,5 *мм*); еще реже он встречается вдоль плоскостей напластования до 2 *см* длиной. Содержание меди в смешанных серебряно-свинцово-цинковых концентратах, включая сульфиды всех генераций, на протяжении пяти лет определено как равное в среднем 0,12%.

Графит в небольшом количестве был обнаружен под микроскопом в виде лучистых волокнистых оболочек, окружающих зерна пирита, или в виде мелких пластиночек в сфалерите. Кроме того, он встречается в виде мельчайших зернышек в заполняющем промежутки аморфном кремнеземе, в виде примазок и местами в виде веретенышек и лучистых вростков до 1 *см* величиной.

Валлериит, пентландит и электрум были обнаружены под микроскопом в виде отдельных мелких зернышек, а опробование показало присутствие в руде от 0,01 до 0,03% кобальта, хотя кобальтовый минерал встречен не был.

Третья генерация. В то время как имеются все данные, доказывающие существование периода покоя между подвижками, связанными с образованием сульфидов первой и второй генераций, тем не менее движение второй генерации неотделимо от движений, приведших к третьей генерации сульфидного отложения. Это последнее движение выразилось главным образом в образовании секущих трещин и в открытии вновь трещин смещения в результате сбрасывания по простиранию.

Третья генерация поперечных трещинок отличается по тому признаку, что она сечет группу пластов на протяжении 3,5 *м* и характеризуется образованием радиальных и поперечных трещинок, которые послужили местом отложения значительной части сульфидов третьей генерации поперек складок мелкой волнистости.

Поперечные трещинки падают круто, вертикально или полого с углом не более 30° и лучше всего развиты в группе рудных тел лежачего бока или в лежачем боку мощных рудных тел. Полого падающие поперечные трещины обычно связаны со смещением

на несколько миллиметров, и вмещающие породы над поперечной трещиной всегда сдвинуты на запад или в сторону висячего бока (по отношению к боку, залегающему ниже поперечной трещины). Эта особенность, типичная для сланцев, падающих на запад, указывает на то, что взброс шел снизу от зоны поперечных трещин. Движение пород продолжалось в течение периода между второй и третьей стадиями отложения сульфидов. Если поперечные трещины секут сульфиды второй генерации и не содержат сульфидов третьей генерации, то не исключена возможность принадлежности ко второй генерации; подобным же образом сетка мелких трещинок, образовавшихся в конце отложения второй генерации сульфидов, может частично принадлежать третьей. Таким образом, все указывает на то, что в течение второй и третьей генераций усилия, производившие подвижки пород, были направлены с северо-востока и распространялись в направлении, уходящем под рудные тела.

Помимо образования поперечных трещин, вторым результатом сдвига, связанного с третьей сульфидной генерацией, было повторное открытие продольных трещин сброса с жилами белого кварца и крупнокристаллического доломита. Участки Рио Гранде и Блэк Рок характеризуются гораздо бóльшим количеством продольных сбросов, чем Блэк Стар, где поперечные нарушения пластов гораздо более обычны, чем продольные.

Таким образом, подвижка третьей генерации проявилась гораздо сильнее в рудниках Рио Гранде и Блэк Рок, чем в Блэк Стар. Сульфиды третьей генерации отложились в таком же порядке, как и сульфиды второй генерации, но не в тех же соотношениях; к тому же сульфиды третьей генерации более грубозернисты и более отчетливо кристалличны.

Так, в Рио Гранде, Блэк Рок, рудном теле № 5 группы Блэк Стар и секторе лежачего бока рудного тела № 2, где образование поперечных трещин, ассоциированное с третьей сульфидной генерацией, было наиболее интенсивным, сульфиды серебра и свинца третьей генерации более обильны; серебряно-свинцово-цинковая минерализация сульфидов третьей генерации приобретает особое значение в силу того, что около 3% хлорита, сфалерита, пирротина и марказита и 4—5% пирита и арсенопирита месторождения Маунт Айза принадлежат к третьей генерации отложения; также около 25% галенита и 35% тетраэдрита относятся к этой же генерации.

Пирит по характеру его ассоциации с пиритом первой и второй генераций, как полагают, является производством двух более ранних типов пирита и проявляется обыкновенно в виде кубиков от 0,5 до 2 *мм* величиной.

Арсенопирит в кристаллах от 0,1 до 1,5 *мм* встречается в ассоциации с пиритом и перекрывает его во времени, переходя

в пирротиновую стадию, подобно его проявлению с пиритом и пиротином во второй генерации. Хлорит (пеннин) иногда встречается в поперечных трещинках, в жильном кварце и вдоль контактов кварцево-доломитовых жил, где иногда встречается в виде желваков до 25 *см* длины. Содержание изоморфного железа в сфалерите то же, что и во второй генерации.

Пирротин с величиной зерен обычно от 0,2 до 1 *мм* найден вблизи жильного кварца в виде масс до 12 *см* в поперечнике.

Галенит проявляется в поперечных трещинах, часто в виде пластообразных замещений до нескольких сантиметров мощности и иногда в виде крупных масс (с кристаллами от 0,25 *мм* до 15 $см^3$) в жильном кварце и вдоль контактов кварца. Пластовые замещения или замещения по плоскостям напластования встречаются в более мощных доломитовых пропластках (мощностью от 0,6 до 15,6 *см*), которые подверглись скалыванию, после того как эти пропластки со стороны зальбандов были замещены более ранними сульфидами.

Заключительное отложение свинца происходило в форме импреньяции кристаллов «стально-серого» галенита размером от 1 до 4 *мм* вблизи продольных сбросов, главным образом в рудниках Блэк Рок и Рио Гранде.

Тетраэдрит связан с галенитом таким же образом, как и во второй сульфидной генерации, но здесь он гораздо более крупнозернист; отношение серебра к свинцу повысилось с 0,5 : 1 в начале второй сульфидной генерации до немногим больше чем 1 : 1 в конце третьей сульфидной генерации.

Меньше 5% всего серебра Маунт Айза получается из полибазита ($9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$), пираргирита ($3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$) и прустита ($3Ag_2S \cdot As_2S_3$), ассоциированных с третьей генерацией тетраэдрита. Штернбергит ($Ag_2S \cdot 2FeS$) встречается довольно редко, и стадия его отложения осталась неопределенной.

Халькопирит в скоплениях до 5 *см* длиной встречается либо с жильным кварцем, замещающим по трещинам доломит, либо рассеян по всем поперечным трещинкам третьей генерации в виде зерен величиной до 1,5 *мм*. Приблизительно половина всего халькопирита в серебряно-цинковых рудных телах была отложена в течение третьей стадии минералообразования. После того как завершился третий период отложения сульфидов, нового привноса их не происходило.

Приводившиеся выше цифры процентного содержания минералов в руде были получены главным образом в результате исчерпывающего минералогического изучения блока величиной $2100 \times 450 \times 300$ *м*, содержащего промышленные рудные тела. Данные базировались на: 1) полном и детальном опробовании не только рудных тел, но также и минерализованной площади, простирающейся за их пределами, 2) результатах широко

применявшегося алмазного бурения, 3) микроскопического изучения прозрачных и полированных шлифов, характерных для пород изученного участка, и 4) геологической съемке поверхности и всех подземных выработок.

Запасы

Запасы серебряно-свинцово-цинковой руды, определенные 30 июня 1947 г., равняются 9 997 962 *т*, из которых 4 335 892 *т* относятся к категории достоверных, а 5 662 070 *т* — перспективных. Табл. 16 показывает тоннаж руды и процентное содержание в ней металлов.

Таблица 16

ЗАПАСЫ И СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛА В РУДЕ

Месторождение	Запасы, *т*	Серебро, *г/т*	Свинец, %	Цинк, %
Карбонатная руда				
Блэк Стар	238 613	116	8,2	6,1
Рио Гранде	16 530	272	13,9	. . .
Маунт Айза	45 000	34	14,4	. . .
Итого . . .	300 143			
Сульфидная руда				
Блэк Стар	7 992 489	167	8,2	7,7
Блэк Рок	172 984	227	12,4	10,7
Рио Гранде	150 398	408	14,4	5,6
Рейскорс	1 381 948	218	9,8	6,4
Итого . . .	9 697 819			
Всего по обоим типам руды . .	9 997 962	176	8,6	. . .

Достоверные запасы оконтуривались подсечением руды подготовительными штреками, а в некоторых случаях дополнительным бурением неглубоких скважин, но в количестве, достаточном для точного определения контуров рудных тел и процентного содержания в них металлов.

Перспективные запасы исчислялись по данным предварительного алмазного бурения, на основании возможного продолжения

вскрытых блоков руды; в эту же категорию целиком включены запасы, хотя бы частичная разработка которых представляется экономически целесообразной после окончания работ в соседних с ними секторах.

ЛИТЕРАТУРА

Blanchard R., The Alleged Mineral Zoning at Mt. Isa. *Mining Technology*, 1943.
Blanchard R. and Hall G., Mount Isa Ore Deposition. *Econ. Geol.*, **32**, 1042, 1937.
— Rock Deformation and Mineralisation at Mount Isa. *Proc. Aust. Inst. Min. and Met.*, **129**, 23, 1942.
Grondijs H. F. and Schouten C., A Study of the Mount Isa Ores. *Econ. Geol.*, **32**, 407, 1937.
Kruttschnitt J. and Mann V. I., Mining methods and casts at the Mt. Isa Mines Ltd., Queensland, Australia. *U. S. Bur. Mines Inf. Circular*, 6978, 1937.
Schouten C., Some notes on Micropseudomorphism. *Econ. Geol.*, **41**, 348, 1946.

ТАНГАНЬИКА

Ж. ПУССЕН и МАК КОННЕЛЛ [1]

РУДНОЕ ПОЛЕ МПАНДА В ЗАПАДНОЙ ТАНГАНЬИКЕ

Краткое содержание

Рудное поле Мпанда было открыто в 1936 г., но удаленность и недостаток материалов с 1940 г. задержали его развитие. Минералогический состав месторождения — галенит, халькопирит и другие со значительном содержанием золота и серебра; жильными минералами являются кварц и сидерит. Цинк и мышьяк отсутствуют. Вольфрамовые минералы встречаются в ограниченной области. Минерализация относится к мезотермальному типу; жилы (reefs) встречаются как в сколовых зонах, так и в настоящих трещинах; обильные россыпи золота имеются в потоках, пересекающих жилы. Рудное поле находится в архейских породах и связано с аляскитовым гранитом позднеархейского возраста.

Месторождение еще далеко не настолько исследовано, чтобы можно было точно вычислить его потенциальные возможности; могут быть подсчитаны только запасы рудного тела Муквамба.

Введение

Рудное поле Мпанда было открыто первым из авторов в 1936 г. во время поисковой экспедиции, организованной с целью проверки некоторых геологических указаний, полученных в процессе работы на территории провинции Киву в Бельгийском Конго.

Район Мпанда лежит в 60 *км* на восток от середины озера Танганьика и в 160 *км* на юго-восток от г. Таборы, столицы центральной Танганьики — важного связующего центра области. Путешествие по району Мпанда представляло в 1936 г. большие трудности; единственной дорогой, пересекающей область, была дорога от Табора до Керема, расположенного на озере Танганьика. Ввиду такой малой доступности района только безупречно организованная экспедиция могла иметь какой-либо шанс на успех; нам при наших возможностях удалось провести только очень незначительный круг поисковых работ. На реке Мпанда впервые были найдены россыпи золота, и так как геологические данные казались обещающими, то было арендовано два участка общей площадью 47 *кв. км*, заключающих выходы свинцового,

[1] J. de La Vallée Poussin, директор компании Uruwira Minerals Limited; R. B. McKonnell, геолог Геологической службы Танганьики.

медного оруденения и россыпи золота. Позже была организована компания Uruwira Goldfields Limited при участии бельгийского и британского капитала. Подготовительные работы в районе Мпанда велись очень медленно в силу крайней его отдаленности. Была сооружена дорога протяжением 120 *км* до Увинзы, расположенной на центральной железнодорожной линии Танганьики, но все же пересечение области представляло большие трудности, и дорога до 1944 г. была очень неудобной, а после дождей становилась почти совершенно непроезжей; к тому же переброска тяжелых грузов по такого рода дороге, и без того нелегкая, еще осложнялась различными трудностями, связанными с военным временем. Несмотря на это, все-таки удалось пройти больше 3000 *м* подземных выработок, пробурить две скважины и построить городок с достаточно благоустроенными жилыми помещениями.

В 1945 г. правительство Танганьики отпустило средства на постройку ветки железной дороги длиной 130 *км* от станции Калиуа, на магистрали, до рудника; изыскания вдоль этой линии были закончены в 1946 г., и сейчас идет ее сооружение. В октябре 1946 г. рудник Мпанда был посещен инженерами и геологами компании Union Corporation Limited, в результате чего в феврале 1947 г. было образовано новое объединение под названием Uruwira Minerals Limited с капиталом в 1 250 000 ф. ст. Целью данного объединения является широкая разведка площади и сооружение обогатительной фабрики; в объединении участвует на паях британский и бельгийский капитал, а компании Union Corporation принадлежит руководство технической частью предприятия. Компания энергично приступила к делу, проводя широкую разведку с помощью алмазного бурения, геофизических методов и подземных выработок.

Эдмунд Тиль (E. Teale), будучи директором Геологической службы Танганьики, первый описал, правда, в очень общих чертах, геологию этой части западной Танганьики (1930, 1931, 1932 гг.). Позже Ж. Пуссен свел результаты всей проделанной с момента открытия рудного поля работы в аннотированных картах и заметках, которые и положены в основу данной статьи. В 1939 г. Дж. М. Стокли из Геологической службы Танганьики произвел рекогносцировку, в результате которой он опубликовал статью (1930 г.), содержащую топографическую и геологическую карты, на которых основывалась вся последующая геологическая работа в районе Мпанды. Б. Темперли (B. N. Temperley), также сотрудник Геологической службы Танганьики, начал в 1945 г. новое изучение области, но, к сожалению, не окончив его, покинул территорию; к счастью, авторам удалось познакомиться с его предварительным отчетом. Второй из авторов провел на месторождении Мпанда два месяца в 1946 г. и две недели

в 1947 г. Составлением этой статьи мы в значительной мере обязаны помощи инженеров и геологов Union Corporation и особенно Дж. Дж. Роджерса.

Топография и физиография

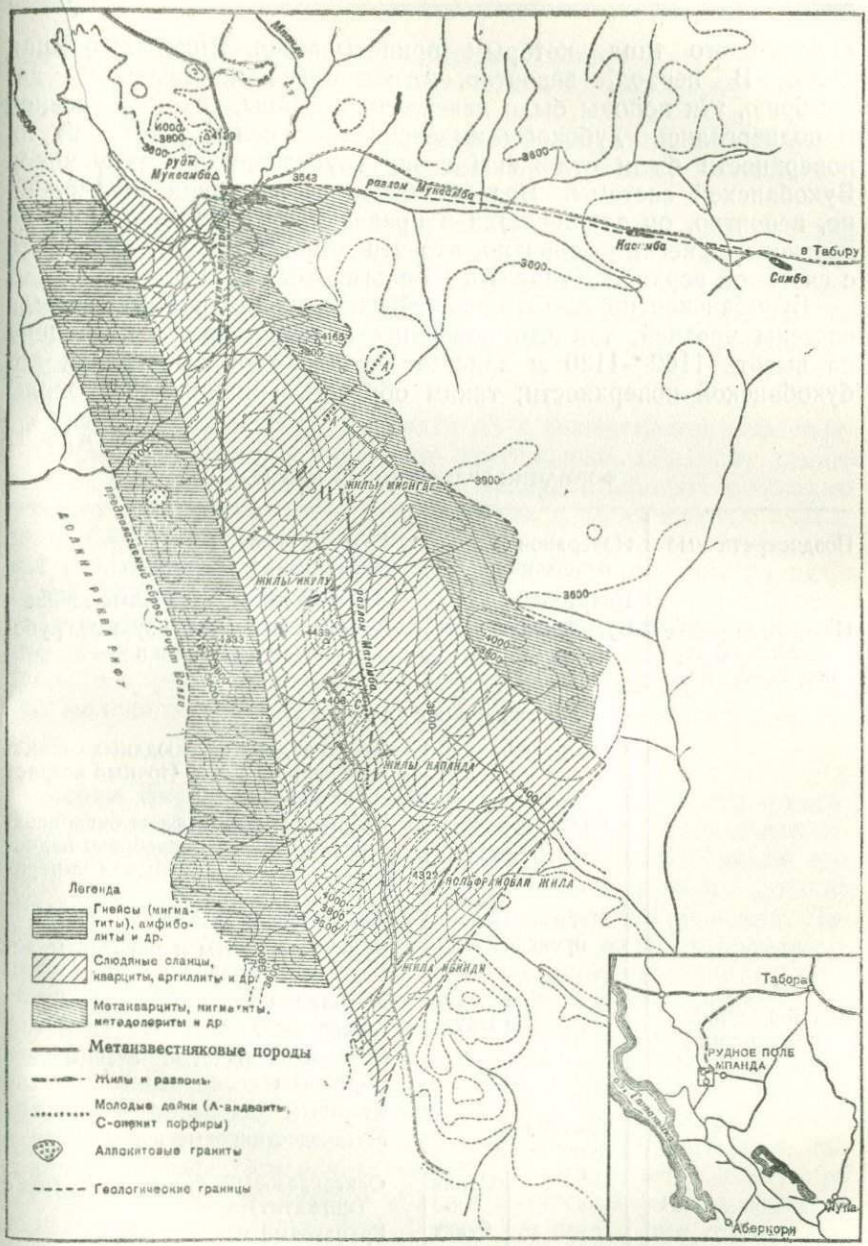
Рудное поле Мпанда расположено на западной периферии Танганьикского щита, сложенного архейскими гранитоидными породами. Непосредственно к западу от него расположена Западная система грабенов; принадлежащий к этой системе и простирающийся в северо-западном направлении грабен долины Руква (Руква Рифт Валли) ограничивает рудную площадь. Окраины грабенных долин в большинстве случаев холмисты и возвышаются над окружающей местностью, а в самом районе Мпанда гряда холмов высотой свыше 350 *м* ограничивает долину Руква. Общий уровень местности определяется пенепленом позднетретичного времени, лежащим на высоте от 1100 до 1130 *м*, а совместное действие опускания долины Руква и вздымания ее бортов привело к образованию пояса глубокой эрозии около трех миль шириной, окаймляющего грабен. Реки района, как правило, пересыхают к концу сухого сезона, продолжающегося с мая по ноябрь. Река Мпанда, которая редко высыхает совершенно, течет с севера, протекает мимо рудника Муквамба и поселка того же названия и впадает в долину Руква, принимая с юго-востока притоки Мьякализа, Мзангама, Магамба и Лухумука. Река Ибинди течет на юг, а дальше к югу в долину Руква вливается река Капанда после соединения с рекой Мтизи.

Местность очень залесена, большей частью лесами миомбо (*Isoberlinia-Brachystegia*), характерными для Центральной Африки; по берегам рек растет великолепный строевой лес.

Водоснабжение рудника и поселка обеспечивается плотиной на реке Мпанда. На отдельных участках в связи с отсутствием воды были пробурены скважины до водоносного горизонта.

Общие геологические особенности

Рудные тела месторождения Мпанда залегают в метаморфических архейских или первозданных породах, которые, по классификации Геологической службы Танганьики, принадлежат к системе Основания. Ввиду полного отсутствия в этих породах органических остатков их связь с другими древними формациями Африки остается неустановленной и определение может базироваться только на литологических и фациальных особенностях. Метаморфические породы секутся несколькими типами магматических пород; наиболее важными являются граниты



Фиг. 52. Предварительная геологическая карта рудного поля Мпанда.

аляскитового типа, которым приписывается минерализующая роль. В период, вероятно, относящийся к позднему докембрию, эти породы были пенепленизированы, вскрыты эрозией и подвергались глубокому выветриванию; вслед за тем на их поверхности были отложены серии грубозернистых песчаников Букобанской системы. Возраст букобанских пород неизвестен, но, вероятно, он заключается в пределах от докембрийского до девонского; весьма вероятно, что эти породы следует связывать с системой верхней Кунделунгу Бельгийского Конго.

Букобанские породы с большей части площади Мпанда были снесены эрозией, так что поверхность современного пенеплена на высоте 1100—1130 *м* залегает недалеко от выветрелой добукобанской поверхности; таким образом, обнажившиеся жилы

Таблица 17

ФОРМАЦИИ РУДНОГО ПОЛЯ МПАНДА

Позднетретичные	Поверхностные отложения		Гравий, песок, глины
			Латеритовый железняк
	Интрузивы		Долеритовые и норитовые дайки
Нижнепалеозойские и (или) верхнедокембрийские	Букобанская система		Красноватые или пурпурные грубозернистые песчаники
Главное несогласие			
Архейские или первозданные	Интрузивы		Дайки андезитов, слюдяных сиенит-порфиров и т. д. (точный возраст неизвестен)
	Гидротермальные проявления		Кварцевые жилы, фазы окварцевания и свинцово-серебряно-медно-золотая и вольфрамовая минерализация
	Магматические проявления		Аляскитовый гранит
			Древние граниты и мигматиты, пегматиты и чарнокит
	Система основания	Серия Икулу	Мигматиты
			Амфиболиты
			Кварцево-слюдистые сланцы и филлиты
			Кварциты
			Метаизвестняковые породы
		Серия Кабунгу	Олигоклазовый биотитовый гнейс (мигматит)
			Гранатовые метадолериты
			Плагиоклазовый амфиболит
			Кварцит, более или менее метаморфизованный

подверглись выветриванию и выщелачиванию в течение двух последовательных периодов, разделенных большим промежутком времени.

Формации, слагающие рудное поле Мпанда, приведены выше в табл. 17; относительный возраст первозданных формаций и интрузивов не всегда определен точно.

В 1937 г. Стокли выделил в пределах рудной площади три литологически различных пояса, протягивающихся с северо-запада на юго-восток; этого естественного подразделения с некоторыми изменениями придерживаются и авторы данной статьи. Эти пояса представлены (с запада на восток) следующими породами.

Гранитоидные гнейсы (мигматиты) с включениями амфиболитов. (1) Эти породы, падающие вертикально, образуют линию холмов в 2—3 *км* шириной между минерализованной площадью и низко опущенным дном долины Руква и простираются параллельно этой долине. Отмеченные гнейсы не являются определенной стратиграфической формацией, а считаются лишь фациями далеко зашедшей гранитизации. Хотя этот пояс сечется большим числом кварцевых жил, но вряд ли эти жилы имеют промышленное значение. На возвышенности Ниенье Хилл к югу от ущелья, прорытого рекой Мпанда, находится небольшое обнажение более молодого гранита аляскитового типа, который описывается ниже.

Серия Икулу. (2) Эта серия образует пояс 3 *км* шириной. Он вступает на территорию месторождения с север-северо-запада, протягиваясь в юг-юго-восточном направлении больше чем на 8 *км*, и затем обрывается вблизи южной границы рудника сбросом, простирающимся в северо-восточном направлении. Породы свиты представляют собой главным образом аргиллитовые метаосадки, состоящие из кварцево-слюдяных кристаллических сланцев, с прослоями кварцитов и амфиболитов, редких горизонтов метаизвестняковых пород и небольшого числа узких полос мигматитов. Кристаллические сланцы часто содержат силлиманит, а Стокли также сообщает о встреченных им турмалиновых кварцитах, но вместе с тем бросается в глаза отсутствие граната и кианита, которыми обычно характеризуются кристаллические сланцы системы Основания; создается такое впечатление, что эти кристаллические сланцы являются одной из молодых серий первозданной формации. Амфиболиты не часты, они обычно довольно крупнозернисты, никогда не содержат граната и не обнаруживают палимпсестовой и офитовой структуры, так же как амфиболиты свиты Кабунгу. Метаизвестняковые породы в большинстве случаев превращены в диопсид или эпидот со

скаполитом и полевым шпатом, а местами содержат много остаточного кальцита.

Породы этой свиты простираются в направлении юго-восток 150—160° и падают вертикально или очень круто на юго-запад.

Свита Кабунгу. (3) Самый восточный пояс образует окаймление площади, протягивающейся гораздо дальше на восток; он сложен породами, принадлежащими более или менее одной и той же серии; для точного определения его границы требуются дополнительные исследования, так как геологическое строение этой зоны в значительной мере маскируется мощным латеритовым покровом. Самыми главными породами этой серии являются твердые метадолериты и плагиоклазовые амфиболиты, более или менее гранатизированные; эти породы варьируют от уралитизированного авгитового долерита до гранулитовых амфиболитов с большим количеством граната и скаполита. Они близки к типам пород, описанным Ф. Оутсом и Б. Темперли для площади Мпвапва в Танганьике (1937 г.). Наименее измененные долериты обладают офитовой структурой и содержат лабрадор, авгит и немного вторичной роговой обманки; авгит всегда немного уралитизирован и иногда изменен в диопсид; во всех случаях отмечено присутствие в небольшом количестве железной руды. По мере углубления метаморфизма наступают следующие изменения: офитовая структура уступает место гранулитовой, все более и более обычными становятся хорошо образованные темные и тусклозеленые кристаллы роговой обманки, пока, наконец, они не образуют бо́льшую часть породы; удлиненные кристаллы лабрадора разрушаются, превращаясь в зернистый андезин; образуется скаполит, который становится очень обычным. Вокруг пироксена образуется реакционная кайма граната, который до сих пор избежал изменения; зерна граната прорастают породу; кремнезем, выделившийся в процессе этих реакций, кристаллизуется в виде кварца, образующиеся окислы железа иногда окружаются каймой из роговой обманки и, наконец, могут возникать эпидот и цоизит. Эти породы встречаются в виде линзообразных тел различной величины; наиболее крупными из них сложены холмы Кабунгу, Шабаза и др. Благодаря своей сопротивляемости выветриванию метадолериты сохранились и выступают в рельефе; но гораздо бо́льшая часть серии слагается полосами мигматитов, состоящих из биотит-олигоклазовых гнейсов, которые местами содержат значительное количество роговой обманки и немного граната; присутствуют также глинистые кварциты, содержащие силлиманит. Пироксениты и чарнокитовые граниты также встречены в этом поясе.

Структурные взаимоотношения этих трех поясов не были подвергнуты детальному изучению. Возможно, что западная зона

гранитоидных гнейсов была смещена относительно серии Икулу. Литологически граница между свитами Икулу и Кабунгу, повидимому, является переходной, так как кварцитово-слюдяные сланцы исчезают к востоку, а полосы амфиболитов становятся более частыми, хотя они остаются маломощными и не содержат граната. Однако, как указывает Стокли, эта граница местами отмечена зонами дробления; повидимому, вдоль контакта имели место значительные подвижки. В юг-юго-восточном направлении от рудничного поселка кварцево-слюдяные сланцы свиты Икулу срезаны сбросом.

Мигматиты. Обычные мигматиты, образующие крупные и мелкие полосы по всей площади Мпанда, представлены преимущественно биотит-олигоклазовыми гнейсами с большим количеством кварца и подчиненными количествами микроклина и микропертита. В более массивных, менее полосчатых типах мигматита количество калиевого полевого шпата увеличивается и порода превращается в нормальный гранитоидный гнейс и, наконец, в так называемый «древний гранит». Роговая обманка и гранат обычны; порода может также перейти в гранат, содержащий плагиоклазовый амфиболит. Эти породы обычно отчетливо полосчаты и смяты, а местами сильно обогащены пегматитовыми образованиями.

Аляскитовый гранит. Это самый молодой гранит изо всех известных в области и является более поздним по возрасту, чем зоны тектонических сколовых трещин, вмещающих рудную минерализацию. Несколько гранитных куполов встречено в пределах минерализованной площади и вокруг нее. Наиболее крупный из них лежит на северо-восток от рудного поля и имеет больше 15 *км* в поперечнике, другие, гораздо более мелкие, купола находятся в расстоянии от одного до 8 *км* от месторождения. Этот гранит добукобанского возраста не моложе, чем система сколовых зон и трещин, которые позже подверглись минерализации.

Характерной чертой этого гранита является то, что присутствующий плагиоклаз представлен альбитом, который встречается в небольшом количестве вместе с калиевым полевым шпатом; последний обычно представлен микроклином и более или менее пертитизированным ортоклазом. Железо-магнезиальным минералом является биотит, который присутствует в очень незначительных количествах.

Альбитовые пегматиты обычно приурочены к сколовым зонам и секутся кварцевыми жилами; мигматиты иногда инъицированы жилками зернистого альбита и микроклина. Полосы альбитового гнейса встречаются в жильных зонах; одна из них, например, следует по сколовой зоне Магамба на протяжении нескольких сот

метров и подверглась раздроблению позднейшими тектоническими нарушениями.

Минерализация области Мпанда, повидимому, относится к послегранитной фазе.

Поздние интрузивы. В области известны интрузивные дайки, но они, в общем, не характерны. В двух местах встречено пересечение дайки андезитового типа минерализованными жилами. Дайка слюдяного сиенит-порфира прослеживается в зоне разлома Магамба на протяжении 1000 *м*. Существуют позднейшие долеритовые дайки, но их взаимоотношение с жилами не наблюдалось.

Минерализация

Отличительные черты минерализации месторождения Мпанда таковы: рудопроявления относятся к мезотермальному типу и характеризуются развитием ограниченной серии минералов. Жильный материал слагается кварцем и сидеритом в варьирующих пропорциях; в некоторых жилах найден в изобилии барит; кальцит присутствует повсюду. Первичными рудными минералами, которые удалось до сих пор определить, являются галенит, пирит, халькопирит, борнит, гематит, аргентит, золото, вольфрамит и шеелит. Цинк, сурьма и мышьяк в районе практически неизвестны.

Золото ассоциировано с пиритом, халькопиритом и борнитом; серебро — с медными минералами и галенитом. Какой-нибудь определенной связи между содержанием меди и свинца, с одной стороны, и благородных металлов — с другой, не установлено; замечено, что благородные металлы ассоциируют только с последней фазой свинцовой и особенно медной минерализации. В некоторых залежах присутствует весь последовательный ряд минералов, но чаще один или два минерала из этого ряда отсутствуют; часто в изобилии встречается пирит, но он почти всегда безруден; местами встречен рассеянный галенит.

Месторождения обычно имеют форму трещинных жил либо тел замещения раздробленного материала в сколовых зонах. Эти типы месторождения сходны по минералогическому составу, но различны в форме кристаллизации минералов.

Минерализованные сколовые зоны обычно широкие и мощные (свыше 100 *м*), они поражают своей правильностью и прямолинейностью. По простиранию эти зоны прослеживаются более чем на 12 *км*. Пока еще немногое можно сказать о распределении рудных столбов в пределах этих зон, но, повидимому, они распределены неравномерно и имеют варьирующую длину от 100 до 150 *м*. Большинство трещинных жил имеет различную мощность — от нескольких сантиметров до 5 *м*, но природа и раз-

мер рудных тел еще не определены. Большинство трещинных жил показывает неправильную полосчатость, обусловленную чередованием полос кварца, сидерита и сульфидов; обилен гребенчатый кварц. В сколовых зонах вмещающие породы на контакте с жилами часто сильно изменены и содержат каолин и карбонаты.

Минеральные ассоциации, встреченные в рудных залежах этого рудного поля, могут быть объединены в следующие группы.

1) Галенит с халькопиритом, немного пирита, немного аргентита (в виде замещений и заполнений) с жильной породой, обычно состоящей из кварца и сидерита, иногда содержащей также барит и кальцит. Содержание золота неравномерное. Этот тип особенно характерен для рудного тела Муквамба, самого крупного месторождения, вскрытого до сих пор в области Мпанда, и прослеживается по всей длине протяженной широтной сколовой зоны.

2) Халькопирит и немного борнита с пиритом и большим содержанием золота и серебра, немного галенита или полное его отсутствие; в жильной породе из кварца и сидерита с некоторым количеством гематита. Этот тип лучше всего выражен в меридиональной жиле, называемой «жила Д».

3) Пирит с небольшим содержанием золота и очень небольшим содержанием серебра; в жильной породе из кварца и сидерита с гематитом. Большое процентное содержание золота, повидимому, связано с присутствием халькопирита. Этот тип хорошо выражен в меридиональной жиле Магамба.

4) Вольфрамит (в большинстве случаев ферберит) с шеелитом, халькопиритом и галенитом. Каждый из этих минералов может быть преобладающим количественно в любой части одной и той же жилы. Характерно присутствие золота и серебра. Жильными минералами являются кварц и сидерит. Этот тип, повидимому, приурочен к южной части рудного поля и встречен в виде жильного штокверка на участке Ибинди.

Для точного установления последовательности выделения минералов пока еще нет достаточных материалов. Повидимому, кварц и сидерит отлагались с перерывами на протяжении всего периода минерализации. Из рудных минералов первым отложился пирит, за ним следовал бедный золотом халькопирит. Галенит относится к поздней фазе минералообразования. Благородные металлы связаны с поздней генерацией свинцовых минералов и особенно с поздними медными минералами. Вольфрамовые руды в районе месторождения Ибинди не изучались.

Окисление и выветривание

В связи с процессами окисления и выветривания возник целый ряд проблем, которых мы здесь лишь слегка коснемся. Все эти

проблемы в основном вытекают из того факта (уже упомянутого на стр. 328), что современная эрозионная поверхность совпадает с поверхностью добукобанского пенеплена или расположена лишь немного ниже ее. Вследствие этого верхние части месторождения, относящиеся к добукобанскому возрасту, подверглись двум различным циклам окисления и выветривания; первый из этих циклов имел место в добукобанское время, второй протекает сейчас. Солончаковые условия, вероятно, являющиеся следствием пустынного характера местности, сопровождали или предшествовали отложению букобанских песчаников и таким образом благоприятствовали привнесению хлора как нового элемента, принявшего участие в реакции на поверхности после окончания первого периода окисления.

Языки вполне окисленных пород, как это показывают буровые скважины, протягиваются вниз до глубины 450 *м* ниже современного уровня грунтовых вод, и возможно, что первоначальный водный горизонт, вероятно, добукобанский, находился намного ниже современного.

Как результат наложения нового процесса выветривания на более древний во многих обнажениях наблюдаются следы очень сильного выщелачивания; последнее было наиболее интенсивным главным образом в присутствии марганца. Свинец, медь и золото иногда выщелочены почти целиком, и, как правило, единственными следами когда-то залегавших здесь относительно богатых золотоносных, свинцовых и медных руд являются небольшие количества хлористого серебра в железной шляпе.

Иногда зона вторичного обогащения с большим содержанием свинца, меди и серебра встречается в основании верхней выщелоченной зоны и, как в Муквамбе, может располагаться намного выше уровня грунтовых вод. Никакого вторичного обогащения сульфидных руд в верхних зонах не наблюдалось, так же как и в окисленных языках, протягивающихся ниже уровня вод.

Карбонаты, окислы и сульфаты обычны для участков выше современного уровня вод, но отсутствуют ниже него. В нижних горизонтах месторождения, там, где проявлялись процессы гипергенеза, встречаются самородные серебро и медь.

Структура и жильные системы

Структура области Мпанда определяется тремя периодами горообразовательной деятельности: 1) главной фазой складчатости системы Основания, которая имела место до и во время гранитизации, приведшей к образованию «древнего гранита»; 2) образованием системы сколов и трещин, которые послужили каналами для минерализующих растворов; 3) периодом послед-

него оживления орогенической деятельности, отмеченной образованием современных сбросовых долин.

Первая из этих двух фаз определила положение коренных пород с региональным их простиранием в направлении юго-восток 140—160° и вертикальным или крутым падением на юго-запад. Это простирание более или менее параллельно со средним направлением главной сбросовой долины Руква (Руква Рифт Валли). Западный пояс гранитоидных гнейсов расположен по отношению к другим поясам скорей диагонально, образуя угол в 160—170°, и согласуется, таким образом, с северным ответвлением грабена Руква, который замыкает этот пояс на западе. В другом докладе, представленном настоящему конгрессу, сделана попытка доказать, что в основном контуры и образование современных сбросовых долин уже были заложены в ранний период орогенеза, предшествовавший гранитизации, продуктом которой был древний гранит. Положение западного пояса гранитоидных пород определилось в то же время, а отсюда и возникло его параллельное простирание со сбросовой долиной.

К востоку от пояса гранитоидных пород структура изоклинальна и за отсутствием естественных разрезов условно определена как переход от более молодой серии Икулу к более древней серии Кабунгу. Повидимому, эти две серии разделены значительным сбросом, о чем свидетельствует присутствие по их границе милонитов; необходима дальнейшая работа для определения возраста этого сброса и его амплитуды перемещения.

Значительный сброс северо-восточного простирания сечет южную часть рудной площади и, судя по топографии местности, вероятно, простирается на значительное расстояние. Этот сброс срезает метаосадочные породы серии Икулу и приводит их в тектонический контакт с серией мигматитов, кварцитов и амфиболитов, взаимоотношения которых со свитой Кабунгу пока неизвестны.

Минерализованные зоны и трещины определяют структурные черты второй фазы нарушения и секут более древние породы; среди них можно выделить следующие три группы: 1) широтные, 2) меридиональные и 3) северо-восточные, представляющие наиболее обычное направление для района. Все до сих пор открытые рудные тела имеют крутое падение — не менее 60—90°, а характер их минерализации, повидимому, не зависит от направления простирания. Структурные особенности разломов и трещин легче объяснить как результат возобновившихся подвижек, которые создали существующую региональную структуру. Это возобновление движения имело место после образования древнего гранита, но до внедрения молодого аляскитового гранита.

Третья фаза образования трещин [1] была одновременна с образованием крупных грабенов «сбросовых долин», которые доминируют в современной топографии района. Она обусловила упомянутую выше глубокую эрозию. Это сбрососообразование рассматривается как омоложение тектонических нарушений первой фазы.

Все восточно-африканские рудники поля характеризуются многочисленными фазами подвижек и минерализации, которые следовали одни за другими. Перемещения по зонам скалывания происходили неоднократно, и дайки, интрудированные в эти зоны, затем в течение последующих фаз подвергались раздроблению и минерализации.

Широтные трещины

Главной структурной единицей широтного направления является сколовая зона Муквамба, которая прослеживается на протяжении 14 *км* и отмечена большими выходами кремнистых железных шляп в четырех участках, находящихся на большом расстоянии друг от друга: Муквамба, Мьякализа, Казимба и Симбо. Бо́льшая часть подземных работ ведется на месторождении Муквамба — самом крупном изо всех месторождений рудного поля Мпанда. Это месторождение простирается на 450 *м* и характеризуется присутствием галенита с халькопиритом в жильной породе, состоящей из кварца и сидерита; присутствуют золото и серебро.

Падение этого большого разлома на всем его протяжении приблизительно 60° на юг, а его мощность колеблется в пределах от 20 до 100 *м*. Обнажение этой зоны отмечается кремнистой железной шляпой, содержащей спорадические кристаллы вторичных свинцовых минералов и небольшие количества золота и серебра: поверхностное выщелачивание было значительным. В южной части площади известны другие широтные зоны скалывания, но они еще не закартированы.

Тектоническая зона Муквамба рассматривается как надвиг, при котором южный блок надвинулся на северный; этот вывод подтверждается: 1) падением поверхности, 2) волнистыми неровностями на поверхности лежачего и висячего боков и 3) сильным раздроблением. Возможно, что имело место и некоторое горизонтальное смещение. Этот разлом имеет четкие ограничения в восточном поясе серии Кабунгу, в твердых гнейсах и метадолеритах, но он становится неясным и затушеванным по направлению к западу, в области более пластичной серии кристалли-

[1] Здесь рассматриваются только фазы, обусловившие минерализацию Мпанда. Прочие промежуточные фазы подвижек освещены в разделах региональной геологии.

ческих сланцев. Нет никаких указаний на развитие какого бы то ни было смещения разлома другими тектоническими нарушениями. Ослабление сжатия в более позднее время сопровождалось образованием трещинных жил; примером может служить так называемая жила Лидер (Главная, Leader reef) в Муквамба.

Как правило, галенит в большей части минерализованной сколовой зоны зернистый или мелкозернистый, что говорит об имевшем место замещении измельченного материала рудными растворами, тогда как в жиле Лидер галенит присутствует в виде кристаллов грубой текстуры и, повидимому, является продуктом заполнения трещин.

Меридиональные разломы

Известны два значительных меридиональных разлома: жила *Д* на западе и разлом Магамба на востоке.

Жила *Д*, расположенная в 3 *км* к югу от управления рудника Мпанда, имеет почти вертикальное падение; ее минерализация выражается вкрапленностью пирита и халькопирита в жильной кварцевой и сидеритовой породе и характеризуется довольно значительным процентным содержанием меди и золота. Муквамбский меридиональный разлом сближается с широтным у Муквамба и содержит два крупных рудных столба грубокристаллического галенита; они склоняются к востоку под углом 65°. Меридиональная зона Муквамба и жила *Д*, повидимому, расположены на продолжении одного и того же разлома протяжением около 8 *км*.

Меридиональный разлом Магамба может быть прослежен приблизительно на 8 *км* и продолжается на юг вдоль прямолинейной долины реки Ибинди: таким образом он определяет главную структурную линию местности. Эта зона нарушения мощностью около 60 *м* выполнена раздробленной породой, замещенной мелкокристаллическим кварцем, серицитом и хлоритом, а также содержит несколько крупных кварцевых жил, минерализованных пиритом, халькопиритом и сидеритом; последние вблизи поверхности показывают хорошее содержание золота. Эти жилы являются источником золотых россыпей.

Между Капандой и Булунгой вдоль сколовой зоны следует дайка слюдяного сиенит-порфира, сопровождаемая на протяжении по меньшей мере 600 *м* зоной мелкозернистого аляскитового гранита; эта дайка несколько раздроблена подвижками, следовавшими за ее образованием.

Жилы северо-восточного простирания

К югу от зоны разлома Муквамба находится значительное число кварцевых жил, содержащих золото; их мощность достигает 2 *м*, а протяжение различно. Некоторые из жил обогащены

на поверхности, но так как ни одна из них не была исследована на глубину, то невозможно сказать, до какой глубины достигает поверхностное обогащение. Образованные за счет разрушения жил элювиальные и субаллювиальные россыпи золота в руслах потоков дали за последние 10 лет большое количество золота и еще не выработаны. Жилы северо-восточного простирания являются наиболее многочисленными в области.

Среди рудных тел этого типа наиболее значительной является кварцевая рудная жила Ибинди-XII (Ibindi XII reef). Она прослеживается на протяжении более 300 *м* и достигает мощности 2 *м*. Кроме высокого содержания золота (на поверхности), жила содержит галенит, халькопирит и пирит; жильным минералом наряду с кварцем является сидерит. Из аллювиальных россыпей речки, секущей эту жилу, было получено большое количество золота.

Так называемая Вольфрамовая жила является продолжением только что описанной и находится на расстоянии 600 *м* к северо-востоку от нее; таким образом все рудное тело имеет протяжение свыше 2 *км*. Эта жила замечательна тем, что она содержит около 1% окиси вольфрама, связанной с ферберитом и реже с шеелитом. Наряду с вольфрамовыми минералами присутствуют галенит, халькопирит, золото и серебро; жильный материал представлен кварцем и сидеритом. Кварц содержит друзовые пустоты с прекрасными кристаллами шеелита; в этих пустотах также встречается вольфрамит, который нарастает на кристаллах кварца. Отмеченный парагенезис указывает на то, что в период образования вольфрамита господствовали мезотермальные условия. В этой жиле не отмечено даже следов олова или турмалина.

Большое число таких золотоносных жил и богатство золотом образовавшихся из них аллювиальных отложений указывают на то, что минерализация в области Мпанда очень широко распространена.

Структурный и литологический контроль минерализации

Структурные черты жил Мпанда сводятся к следующему. На севере, повидимому, ограничивая область минерализации в этом направлении, находится зона широтного разлома, протягивающаяся на 14 *км* и круто падающая на юг; к югу от этой зоны и особенно в поясе кристаллических сланцев располагаются две или более мощные меридиональные вертикальные зоны скалывания и большое число минерализованных жил, простирающихся главным образом в северо-восточном до широтного направлении и реже в северо-западном направлении.

Такая структура района убедительно говорит об имевшем место сжатии в меридиональном направлении, которое сопровождалось надвигом южного блока на северный с образованием

широтного скола Муквамба и дифференциальными подвижками в надвинутом блоке вдоль линий меридионального направления. Меридиональное сжатие должно было вызвать напряжения растяжения под прямым углом к нему и, следовательно, неизбежное образование меридиональных трещин. Меридиональные трещины, таким образом, неизбежно приоткрывались и давали доступ минерализующим растворам. Вполне вероятно, что минерализующие растворы, давшие начало богатым месторождениям Муквамба, двигались вдоль меридионального разлома с юга — от жилы *Д*. В то же самое время в южной части рудного поля образовалась группа более мелких, но и более многочисленных сколов северо-восточного направления. Жилы, локализованные в этих трещинах, имеют хорошее содержание золота, но они не столь постоянны и не так интенсивно минерализованы, как более крупные и более выдержанные широтные и меридиональные рудные тела.

В заключительную фазу минерализации имело место ослабление сжатия, в результате чего в висячем боку разлома Муквамба образовались трещины растяжения: эта фаза представлена жилой Лидер в Муквамба.

Описанные выше три различных типа пород оказали значительное влияние на тип преобладающей минерализации.

В поясе гранитоидного гнейса не обнаружено сколько-нибудь значительных залежей золота, меди или свинца.

Породы серии Икулу, повидимому, благоприятствовали отложению золота и меди. Доказательством этого может служить крупный рудный столб в разломе жилы *Д*, который содержит большие количества и золота и меди; это подтверждается также высоким процентным содержанием золота в верхней части разлома Магамба, присутствием золота в многочисленных жилах южной части площади и, наконец, богатством слюдяно-сланцевого пояса аллювиальными россыпями золота.

Характерной чертой серии Кубунгу является Муквамбский широтный разлом с его свинцовой, медной, серебряной и золотой минерализацией. Минерализация подобного типа с промышленными количествами свинца в серии Икулу не известна. Галенит встречается не только в широтном разломе, но и в северной оконечности зоны меридионального разлома жилы *Д*, где он образует вкрапленность в метадолеритовой серии. Однако, как правило, меридиональные разломы, повидимому, сужаются и становятся безрудными, когда они выходят за пределы менее устойчивого сланцевого пояса. Этим подчеркивается различие между двумя типами разломов.

Данные выводы распространяются только на старый участок разработок и не относятся к разведываемой сейчас площади на юго-восток от него, изображенной на карте фиг. 52.

Происхождение месторождения

Рудное поле Мпанда приурочено к добукобанской серии и, следовательно, относится к позднеархейскому или раннепалеозойскому возрасту, но некоторые его черты указывают на то, что минерализация происходила на относительно небольшой глубине. Отложение букобанского песчаника предохранило эту рудную область от глубокой эрозии, и этот покров песчаника был снесен только недавно.

Полевые наблюдения подтверждают мнение о связи минерализации в области Мпанда с аляскитовым гранитом, который за отсутствием данных региональной геологии условно рассматривается как самый молодой гранит в области. Географическое распределение минерализованных тел, наличие каолинизированных аляскитов и аплитов, содержащих медь и золото, структурная ассоциация аляскитовых апофиз с бедными кварцевыми жилами, несущими гематит и сидерит и сходных по типу с жильной породой рудного месторождения, являются доказательством генетической ассоциации минерализации с аляскитами.

Помимо нескольких уже упомянутых куполов, аляскит местами обнаружен в виде инъекционных и метасоматических жилок мощностью в несколько сантиметров. В кернах буровых скважин, пробуренных вблизи сколовых зон, древние гнейсы обычно раздроблены и пересечены микроскопическими жилками зернистого альбита и микроклина.

Вполне возможно, что аляскитовая интрузия завершила добукобанский цикл и что, следовательно, эрозия не могла зайти очень далеко к моменту отложения песчаников. В очень недавнее время древняя эродированная поверхность, на которой происходило осаждение новой серии пород, обнажилась вновь. Только благодаря предохраняющему от размыва букобанскому песчанику этот очень древний щит подвергся относительно слабой эрозии.

Запасы руды

Общие и местные условия не дали возможности произвести быструю разведку площади, и сейчас можно дать только приблизительную оценку ее потенциальных возможностей. Производственные затраты пока оценены быть не могут.

Единственным рудным телом, в котором для оценки запасов была произведена достаточно глубокая разведка путем подземных и буровых выработок, было рудное тело месторождения Муквамба, залегающее в зоне широтного разлома. Компания Uruwira Minerals Limited опубликовала в 1945 г. цифры, касающиеся рудного тела Муквамба (которые подтверждены Геологической службой Танганьики), выразившиеся в 2 000 000 *т*

разведанной и предполагаемой руды с содержанием в среднем 6,5% свинца, 0,6% меди, 120 *г* серебра и 2 *г* золота; запасы исчислены только до глубины 200 *м*. Очень возможно, что величины содержания меди в действительности более высокие и могут заключаться в пределах от 1 до 1,5%. Бурение показало, что рудный столб простирается до глубины 450 *м*, но о характере месторождения на этой глубине мало известно.

Рассеянный галенит присутствует в зоне мощностью в несколько метров на протяжении 14 *км* муквамбского разлома.

Данные, полученные путем бурения, еще не достаточны для определения даже потенциальных запасов руды этих месторождений. В этом разломе встречены медь, золото и серебро.

Разведка других частей рудного поля еще не достигла такой стадии, чтобы можно было определить экономическую ценность какого-либо из открытых месторождений. Это относится к недавно найденным медно-золотым, а также вольфрамовым месторождениям и новым медно-свинцовым жилам.

Некоторое улучшение мировых экономических условий и завершение сооружения проводимой ныне железной дороги весьма помогут в выполнении программы разведочных работ, которыми руководит компания Union Corporation. Только по окончании этих работ можно будет дать точную оценку потенциальных возможностей этой рудной площади.

ДИСКУССИЯ

Э. Сэмпсон просит сообщить дополнительные сведения относительно характера и глубины окисления в Мпанда.

В. Джонстон обращает внимание на статистический факт отсутствия свинцово-цинковых месторождений в тропических областях и высказывает предположение, что это может быть объяснено особенно глубоким выветриванием и проистекающей отсюда трудностью нахождения этих месторождений.

Э. Тиль говорит, что, по сообщению Мак Коннелла, до последнего времени развитие эксплоатации месторождения задерживалось из-за плохих дорог и удаленности от железной дороги. Прежде на месторождение можно было попасть только окружным путем, делая объезд в 350 *км*, по дорогам совершенно непроезжим на протяжении большей части периода дождей. Он рад узнать, что существующая в настоящее время дорога длиной в 190 *км* будет заменена железной дорогой, а также что уже теперь там имеется аэродром. Он спрашивает, составили ли себе авторы определенное мнение относительно возраста интрузии аляскитового гранита в связи с тектоническим явлением меридионального взброса, вызвавшего образование сдвига в широтном направлении, и связанных с ним меридиональных трещин и сдвигов. Следовали ли эти два явления непосредственно одно за другим или их разделяет более значительный период времени?

Т. Пикеринг очень интересуется глубокой окисленной зоной, описанной авторами, из которой была выщелочена бо́льшая часть рудных минералов. Он всегда считал, что для того чтобы могла произойти в больших масштабах миграция свинца, необходимо наличие известняка. Между тем в Мпанда, повидимому, не имеется известняка, и Т. Пикеринг спрашивает, имеется ли у авторов какая-нибудь теория в отношении химизма процесса выщелачивания,

а также, не наблюдали ли они (в связи с наличием карбонатов в жильной породе) развития церуссита в нижней части зоны окисления.

Ж. Пуссен, отвечая Э. Сэмпсону, сообщает, что здесь имело место очень глубокое выщелачивание; самородная медь была найдена в окисленном материале в ассоциации с халькозином на глубине около 370 *м*. Длительное выщелачивание происходило здесь в добукобанское время в условиях большой сухости климата, когда уровень грунтовых вод опустился на большую глубину. По его мнению, выщелачивание происходило в условиях засоления, так что в кремнистых шляпах осталось только относительно нерастворимое хлористое серебро.

Признаки окисления наблюдаются на глубине 700 *м*.

Отвечая Э. Тилю, Ж. Пуссен высказывает мнение, что меридиональный надвиг осуществлялся на протяжении длительного периода, но что главное перемещение имело место до интрузии аляскита, хотя в породе имеются налицо некоторые признаки раздробления. По всей вероятности, аляскит интрудировал незадолго до начала букобанского времени. Авторы считают, что температурный градиент в последующих гидротермальных отложениях отчасти контролировался добукобанским пенепленом.

В ответе Т. Пикерингу Ж. Пуссен сообщает, что все карбонаты были вымыты еще до выщелачивания свинца и что церуссит на глубине не встречается, хотя в поверхностных шляпах имеются англезит, церуссит, малахит и азурит.

Председатель **В. Джонс** спрашивает, первичного ли происхождения сидерит в Мпанда, на что получает утвердительный ответ.

ЛИТЕРАТУРА

Oates F. and Temperley B. N., A Contribution to the Geology of the Lower Division Basement Complex of Tanganyika Territory. *XVII Int. Geol. Congress*, Moscow, 1937.

Teale E. O., Annual Reports, *Tanganyika Geological Survey*, 1930, 1931, 1932.

Temperley B. N., Geology of the Country around Mpwapwa. *Tanganyika Geol. Survey, Short Paper*, No 19, 1938.

Stockley G. M., Outline of the Geology of the Uruwira Mineral Field. *Tanganyika Geol. Survey, Short Paper*, No 22, 1939.

НИГЕРИЯ

Р. МЭКЕЙ[1]

ЖИЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Краткое содержание

В Нигерии пояс пород нижнемелового возраста начинается приблизительно в 50 *км* южнее Энугу и заканчивается севернее Нуман на Бенью, протягиваясь на расстояние около 550 *км*. Бо́льшая часть страны почти не изучалась ни геологами, ни инженерами.

Рудники здесь в прошлом разрабатывались только в двух местах, расположенных друг от друга на расстоянии около 400 *км*, но и эти рудники перестали функционировать в период депрессии между двумя мировыми войнами. Месторождения галенита были установлены еще приблизительно в десяти местах вышеуказанного пояса; цинковая обманка встречается реже.

Рудные тела залегают в песчаниках, в глинистых сланцах и, возможно, в известняках. В составе жил участвуют кварц, сидерит, марказит и кальцит; в незначительных количествах присутствует халькопирит, редко встречается тетраэдрит. Установлено, что все исследованные рудные тела находятся в области пересечения антиклиналей трещинами.

В настоящей статье дается перечень известных месторождений и их краткое геологическое описание.

Введение

На территории Нигерии имеется протяженный пояс, в котором встречаются многочисленные рудные тела, содержащие сфалерит и галенит. Сейчас еще трудно сказать что-нибудь определенное относительно значения этих залежей. Разовьются ли тут более или менее крупные свинцово-цинковые разработки, или будут работать только мелкие предприятия — этого нельзя сказать заранее с полной уверенностью; во всяком случае, несомненно, что здесь будет производиться добыча. В прошлом продукция здесь была незначительная; главное внимание компании было обращено на добычу серебра, но в период между последними войнами и эти работы были приостановлены из-за исключительно низких цен на добывавшиеся здесь металлы. Результаты новейших исследований дают основание для оптимистической оценки перспектив, имеющихся здесь в настоящее время. Мы располагаем только немногочисленными отдельными данными в отношении рудных площадей, приведенными в годовых отчетах Геологической службы Нигерии. Цель настоящей

---

[1] К. А. Mackay, горный инженер Геологической службы Нигерии; в настоящее время — старший геолог Геологической службы Великобритании.

статьи — объединить наиболее интересные данные, содержащиеся в этих материалах, дополнив их некоторыми новейшими сведениями.

Общая геологическая характеристика. В Нигерии представлены только некоторые геологические системы — докембрийская, меловая, эоценовая, плейстоценовая и современная; некоторые интрузивные породы могут, впрочем, относиться к палеозою или мезозою. Нас в настоящем случае интересуют только породы, принадлежащие к нижнемеловому периоду. Эти породы образуют пояс протяжением 550 *км*, который начинается у реки Кросс в южной Нигерии на расстоянии менее 160 *км* от морского берега и тянется до области Айола, расположенной в северо-восточной части страны. Рассмотрение причин, по которым эти меловые породы сохранились, выходит за пределы нашей темы; интересующиеся этим вопросом могут обратиться к работе Дикси и Уилберн (1948).

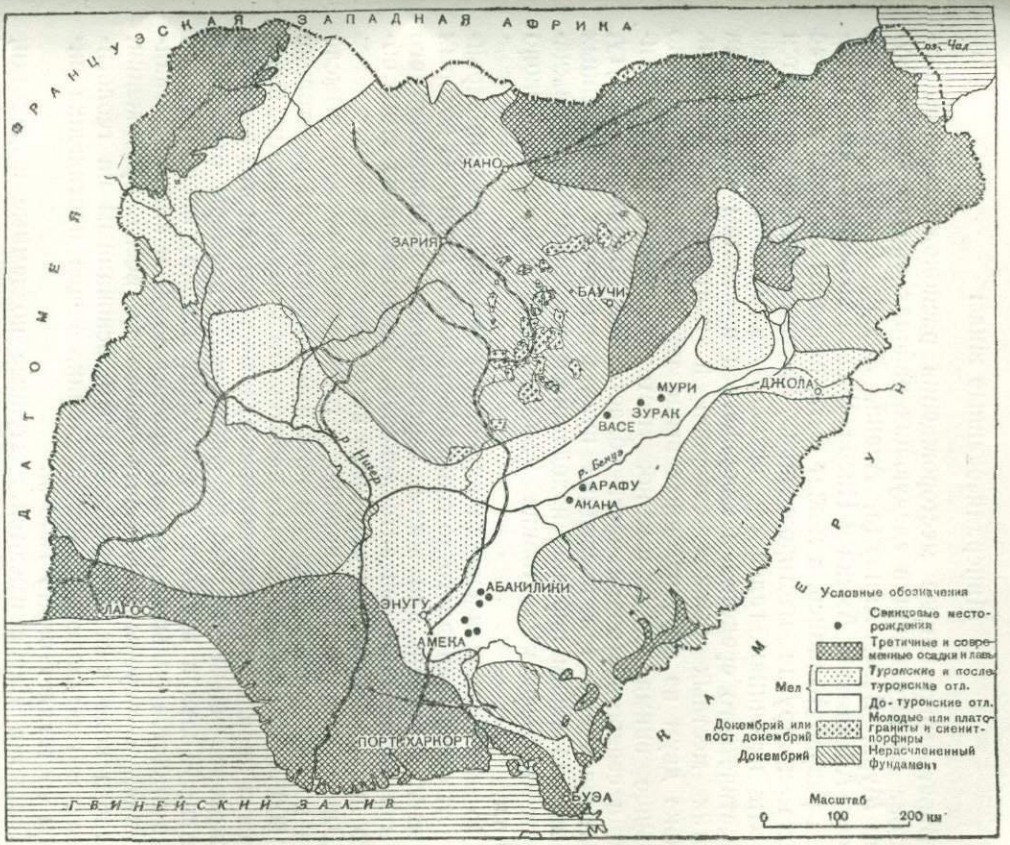
Нижнемеловые периоды определяются Таттамом (1943) предположительно как дотуронские. Они состоят из консолидированных глинистых сланцев, песчаников и аргиллитов, реже известняков; мощность последних обычно невелика. Породы были смяты в складки; в исследованных до настоящего времени местностях оси складок расположены довольно близко друг к другу, а падение их варьирует в пределах от пологого до умеренного. Направление простирания изменчиво, но преобладающим является широтное направление. В некоторых местах здесь наблюдаются значительные сбросы.

История. Открытие свинцово-цинковых месторождений в Нигерии относится ко времени, выходящему за пределы известной нам истории этой страны. Туземцы, несомненно, уже разрабатывали в небольших размерах все или почти все известные в настоящее время месторождения; полагают, что в XVII и XVIII вв. разработки тут стимулировались деятельностью португальских купцов.

Первое открытие, зарегистрированное Горной службой, относится к 1904 г. Первым оффициальным лицом, посетившим обширные старые разработки Амека, был Э. Тиль, участник настоящего конгресса.

В период между войнами в Зураке работала одна компания. Продукция достигала приблизительно 5000 *т* свинца и 28 *т* серебра. Рудник разрабатывался на глубину 75 *м*. Цинк не экспортировался. Разработка была прекращена из-за падения цен, а также вследствие уменьшения содержания серебра.

Месторождение Ниеба разрабатывалось в течение нескольких лет, но в 1927 г. работы были здесь прекращены в связи с



Фиг. 53. Обобщенная предварительная геологическая карта Нигерии, 1943 г.

падением цен. Вывезено было всего только 830 *т* галенита, но добыто его здесь значительно больше.

Минерализованные жилы

Зарегистрированные месторождения расположены с северо-востока на юго-запад в следующих районах округа Гомбе: Зурак, Мури, Вазе, Айикума, Акана, Арафу, Амери, Ольпума, Альва, Абакалики, Амека и Ниеба. Весьма возможно, что туземцами разрабатывались, а может быть, разрабатываются и сейчас также и другие месторождения. Местные жители пытаются скрыть источники галенита, используемого ими в качестве косметического средства и являвшегося предметом торговли на многих местных рынках северной и центральной Нигерии. Только двум из перечисленных выше территорий было уделено большое внимание, а именно: месторождениям, расположенным в северо-восточной части области близ Зурака, и округу, охватывающему три последних пункта из числа приведенных в вышеуказанном перечне, находящиеся в южном конце нижнемелового пояса. Расстояние между этими районами — около 480 *км*.

Во всех месторождениях направление простирания жил варьирует от северо-западного до северо-восточного; жилы, из которых добывался свинец, или жилы, перспективные в отношении его добычи, пересекают оси антиклиналей. Исключения из этого общего правила пока еще встречено не было.

Длина жил по простиранию в горно-экономическом смысле пока не определена. Системы жил протягиваются на расстояние до 1800 *м*, но в этих пределах наблюдаются выклинивания, пережимы и параллельно залегающие рудные тела, так что было бы преждевременным уже сейчас фиксировать размеры отдельных единиц. Жильная система Амека имеет в длину около $1^1/_2$ *км*; здесь имеются большие старые карьеры до 60 *м* шириной, занимающие, с перерывами, почти половину всего протяжения. Согласно новейшим отчетным данным, основанным на геологических и геофизических исследованиях, общее протяжение системы составляет около 1800 *м*.

Только в Ниебе имеются доступные подземные выработки, но и они не глубоки. Длина их достигает 60 *м* на горизонте 20 *м*; данные анализа показали наличие руды с 30-процентным содержанием свинца на мощность 6 *м* в самой широкой части рудного тела и 10-процентным — на мощность 7 *м* на расстоянии 30 *м* в северном штреке. Бóльшая часть прежних, равно как и последних данных, относится к церусситовой руде. Видимой на глаз цинковой обманки совсем или почти совсем не встречается, за исключением небольшого количества ее, найденного

в отвалах, относящихся, возможно, к глубине около 30 *м*. Эта система жил была прослежена при помощи геофизических методов на протяжении около 600 *м*.

Жильная система Абакалики распространяется значительно более чем на 1200 *м*. Хотя, судя по данным старых разработок и геофизическим аномалиям, размеры этих месторождений и весьма значительны, все же мы до настоящего времени не располагаем данными подземных исследований, на основании которых можно было бы определить размеры имеющихся здесь рудных тел.

Геологической разведкой обнаружено более дюжины выходов жил на поверхность, расположенных в северной части сектора Абакалики; при геофизической разведке был отмечен ряд аномалий между Ниеба и Амека, похожих по своему типу на те, которые установлены для уже известных лиц.

Рудные тела Зурака образуют отчетливую зону, тянущуюся на расстояние около 900 *м*; здесь разрабатывались три главные жилы длиной от 60 до 90 *м* и несколько жил меньших размеров. Угол их падения составляет около 45° на запад. На расстоянии около 600 *м* к западу недавно была открыта еще одна жила длиной около 90 *м*, в которой был найден галенит. На глубине 15 *м* сфалерит попадается редко, а содержание галенита в жиле возрастает. Ближе к поверхности галенит оказался выщелоченным и сохранился лишь там, где он был заключен в глине. Далее к западу имеется еще один выход на поверхность; он тоже находится близ оси антиклинали.

Минералогический состав. Состав «нежелезных» рудных минералов [1], встречающихся в описываемом поясе, относительно прост. В окисленной зоне развиты церуссит и англезит, ассоциирующие с подчиненными сфалеритом и галенитом, количество которых возрастает с глубиной. В небольшом количестве встречается халькопирит; в качестве редкого минерала в Зураке обнаружен тетраэдрит.

В противоположность рудным минералам, нерудные минералы весьма разнообразны. В местонахождении Ниеба, приуроченном к выступающему гребню красных глинистых сланцев, преобладающим жильным материалом является сидерит; кварц представляет собой здесь явление необычное; марказит встречается редко. Главная жила Амека простирается приблизительно на 5 *км* на запад и залегает в понижении; вмещающая ее порода —

[1] Здесь в число рудных минералов не включаются сульфиды железа, в частности марказит, который автором относится к числу нерудных минералов; судя по описываемым колломорфным структурам, марказит может являться вторичным, развивающимся по пирротину. (*Прим. ред.*)

тоже красный глинистый сланец. Преобладающим минералом, по крайней мере на исследованных глубинах, является марказит; часто встречается кварц, реже сидерит. Марказит имеет сосцевидную структуру, что, по всей вероятности, обусловлено вторичным отложением. В Зураке жила залегает в песчаниках и аргиллитах или глинистых сланцах, а жильная порода состоит из кварца с подчиненным кальцитом; наряду с этими минералами был обнаружен также и барит.

В какой степени выполнения жил являются вторичными или первичными — пока еще сказать нельзя. Однако полагают, что наблюдающиеся различия между жильным веществом обусловлены скорее характером вмещающих пород, а не природой рудных растворов (Мэкей, 1946).

Соотношение между свинцом и цинком. Установлено, что в месторождениях Зурак, Ниеба и Амека, то есть в единственных, которые были основательно исследованы, содержание цинка с глубиной увеличивается. В Амека и Зурак это явление выражено резко и устанавливается сразу же. Несомненно также, что во всех жилах Зурак и Амека содержание свинца уменьшается. Одновременно в Зураке уменьшается содержание серебра в галените, причем имеются основания полагать, что то же самое имеет место и в Амека.

Возможны три объяснения этого явления. Во-первых, изменение может быть обусловлено первичной зональностью. Против этого говорит прежде всего то, что наблюдающееся изменение по своему положению во всех трех пунктах имеет место ниже современной поверхности эрозии. Это усугубляется тем, что изменение наблюдается близ современного уровня грунтовых вод. Наконец, это объяснение становится чрезвычайно маловероятным в связи с тем, что изменение должно быть согласованным с современной эрозионной поверхностью в Зураке, с превышениями до 1000 *м*.

Во-вторых, относительное повышение содержания свинца в верхней части жилы могло быть вызвано остаточным обогащением в связи с выщелачиванием сфалерита и жильных минералов выше уровня грунтовых вод.

Но и это представляется невероятным, поскольку не имеется, повидимому, никаких доказательств сколько-нибудь значительного выноса жильных минералов растворами в Амека и имеются определенные данные, говорящие против наличия такого выноса в Зурак, где слоистость глинистых сланцев и песчаников еще и сейчас остается близ жил в ненарушенном виде. Однако возможность такого явления не исключена; в пользу ее говорит обычная теория вторичных процессов в отношении галенита.

В-третьих, такое распределение может быть приписано миграции галенита с растворами вниз и переотложением его близ уровня грунтовых вод. Против этого объяснения говорит то, что такого перемещения ни в одном из хорошо изученных свинцовых полей всего мира не наблюдалось. Правда, здесь надо сказать, что эти известные нам исследования касаются главным образом месторождений, расположенных в умеренном поясе, в то время как интересующие нас в данном случае залежи находятся на 7—9° с. ш. Химизм таких процессов, повидимому, объяснить трудно. Однако нами было отмечено в нескольких месторождениях золота в Восточной Африке, что галенит, встречающийся в качестве относительно редкого жильного минерала, наблюдается близ уровня грунтовых вод гораздо чаще, чем выше или ниже его. Несмотря на все трудности, встречаемые при решении этого вопроса, с известными нам фактами лучше всего согласуется и кажется нам наиболее правдоподобным предположение, что в данном случае имели место миграция и повторное отложение галенита на относительно небольших глубинах.

В современной стадии исследований совершенно невозможно предсказать, каким будет в дальнейшем обычное для этих месторождений отношение свинца к цинку. Однако, в общем, можно полагать, что это отношение снизится.

ДИСКУССИЯ

Э. Тиль приветствует доложенное Р. Мэкей описание этих месторождений, особенно интересующих его, так как именно им совместно с А. Китсоном были впервые открыты 40 лет тому назад эти древние разработки Амека близ Абакалики. Но они были не первыми английскими геологами, обследовавшими и описавшими свинцовые месторождения этой области. Незадолго до них Паркинсон обследовал небольшое месторождение, расположенное ближе к реке Кросс. Эта страна в то время еще не была заселена. Местный вождь не признавал британского правительства и относился к деятельности геологов с большой подозрительностью. Вначале исследования наталкивались на сильное сопротивление, основывавшееся на утверждении, что данная территория является священной (на местном языке «джю-джю»). Оказалось, что это был простой предлог, и с помощью местного представителя администрации сопротивление это было преодолено. Но вследствие наступления периода дождей продолжать полевые исследования оказалось невозможным. Здесь обращала на себя внимание величина древних выемок в виде длинного и широкого открытого карьера, указывавшего на наличие рудного тела значительных размеров. Характер первоначального выхода его на поверхность установить было уже невозможно. В отвалах было обнаружено некоторое количество церуссита и, если память не изменяет, также и англезита.

Э. Тиль интересуется тем, были ли обнаружены при более поздних исследованиях вдоль северного продолжения свинцового месторождения где-либо естественные выходы на поверхность, на основании которых можно было бы судить о природе месторождений.

В месторождении Амека на небольшой глубине были обнаружены нетронутые гнезда галенита и цинковой обманки.

Т. Пикеринг сообщил, что недавно он имел случай посетить юго-западную часть пояса, описанного Р. Мэкей; он был поражен наличием многочисленных старых, производившихся туземцами открытых разработок, которые, по словам Э. Тиля, приурочены к минерализованным жилам. Из числа около тридцати рудных месторождений, осмотренных им во время его посещения, только в трех были обнаружены жилы, которые частично или полностью еще не разрабатывались раньше. Нигде на этой территории он не нашел жил, обнаженных ниже уровня грунтовых вод, а потому преждевременным было бы делать те или иные предположения в отношении минералогического состава первичной зоны. Повидимому, зона окисления очень неглубока, и в трех вышеуказанных случаях, там, где жилы выходили на поверхность, у самой поверхности был найден плотный галенит, прикрытый слабо развитой шляпой, содержащей церуссит, англезит и лимонит. В этой связи интересно отметить, что в данном месторождении обычно наблюдаются две различные генерации галенита: одна — крупнокристаллическая, кубической формы, а другая — мелкозернистая, обнаруживающая в изломе структуру, похожую на структуру чугуна. Последняя форма носит признаки «течения» или полосчатости. Первый тип преобладает над вторым на поверхности, но, насколько можно судить по доступной для исследования небольшой глубине, содержание первой разновидности с глубиной снижается; нередко она замещает или покрывает коркой вторую.

Председатель задает Р. Мэкей вопрос, наблюдал ли он названные две формы галенита и в других месторождениях и не считает ли он возможным, что первый тип представляет собой продукт вторичного сульфидного обогащения.

Р. Мэкей выражает уверенность, что Э. Тиль, как первый геолог, посетивший Амека, располагает ценными данными, относящимися к прошлому, — сведениями, очень его интересующими. В Нигерии «джю-джю» еще живо и в настоящее время и способно тормозить поисковые работы наряду с желанием туземцев сохранить некоторые жилы для добычи в небольших количествах галенита как косметического средства. То, что стоимость их продукции с точки зрения затраченных человеко-часов превышает цену, которую они заплатили бы, приобретая руду с организованного рудника, ими вовсе не учитывается. Разработки на руднике Амека были в период между войнами возобновлены, но теперь они снова заброшены, так что на основании личных наблюдений не представляется возможным сделать какие-либо существенные дополнения к наблюдениям Э. Тиля в отношении выходов на поверхность. Однако данные отчетов за этот краткий период деятельности показывают, что над уровнем стояния грунтовых вод и близ этого горизонта имеются параллельно идущие жилы галенита и сфалерита, причем количество последнего с глубиной возрастает. Отмеченные Т. Пикерингом два типа галенита автор наблюдал в Ниеба. Этот факт привлек к себе внимание особенно ввиду того, что на некоторых разработках полосчатый тип был оставлен нетронутым, так как туземцы отказались принимать его в качестве косметического средства, хотя после размола он физически неотличим от другого типа. Автор не делает окончательного вывода относительно того, который из двух типов галенита скорее является вторичным. Исследование взаимоотношения между этими двумя типами, возможно, будет иметь большое значение, но оно будет более доступным только в ближайшем будущем, когда станет осуществимым сравнение с первичной зоной. Полосчатый тип в Амека и Зурак не был обнаружен.

Автор соглашается с тем, что зона окисления относительно неглубокая, но считает, что она очень ясно выражена. В Ниеба частичное окисление сохраняется по меньшей мере до уровня 20 *м*; выше этого уровня бо́льшая часть галенита, которая еще существует, сохраняется здесь только по-

тому, что она погружена в глину, образовавшуюся вследствие выветривания зоны дробления.

В Амека зона окисления менее глубока, так как уровень грунтовых вод находится здесь ближе к поверхности. Месторождение Зурак похоже на Ниеба, хотя оно по условиям образования и является менее глубинным.

ЛИТЕРАТУРА

Dixey F. & Willbourn E. S., The Geology of the British African Colonies, 1948.
Tattam C,. Annual Report of the Geological Survey of Nigeria, 1943.
Mackay R. A., Annual Report of the Geological Survey of Nigeria. (Republished in abstract in *Mining Magazine* August, 1947.) 1946.
Mines Department of Nigeria 1925—1927, Annual Reports.
Hedley Williams, *Личное сообщение.*

МАРОККО

Г. ЖУРАВСКИЙ, Ф. ПЕРМЕНЖА, Ж. БУЛЯДОН и *Ж. АГАР*[1]

ДВА ТИПА СВИНЦОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФРАНЦУЗСКОГО МАРОККО

Краткое содержание

В области Тауз жильная свинцовая минерализация в девонских и динантских породах (известняки, мергели, сланцы), заключающая галенит, халькопирит, пирит, барит, кварц и сидерит, сопутствует диоритовым интрузиям герцинского возраста. Жила Контамин прослеживается в длину на 5 *км*, причем мощность ее колеблется в пределах от 1 до 40 *м*. Кроме перечисленных выше минералов, она содержит бурый и красный гематит (образовавшийся в результате окисления сидерита) наряду с окисленными минералами олова и меди. Здесь известен сброс, содержащий вульфенит.

В рудном округе Туиссит — Бу Бекер разрабатываются месторождения замещения в лейасовых доломитах, не обнаруживающие явной связи с изверженными породами. Минерализация имеет форму полос, простирающихся в восток-юго-восточном направлении, имеющих в ширину до 50 *м* и контролируемых флексурами или разрывами. Месторождения появились здесь ранее последнего возобновления движения на сбросах этого округа; их относят к послемеловому, домиоценовому периоду. Минерализация относится к низкотемпературному типу и представлена сфалеритом, галенитом, пиритом, халькопиритом и доломитом.

Введение

В настоящее время добыча свинца и цинка в Марокко почти достигла своего довоенного уровня (фиг. 54). Продукция свинца, благодаря развитию добычи из вкрапленных месторождений руд Бу Бекер — Туиссит и Мибладен, дающих $^2/_3$ всей продукции Марокко, в 1947 г. выразилась цифрой 30 000 *т*, а в 1948 г. превысила 50 000 *т*.

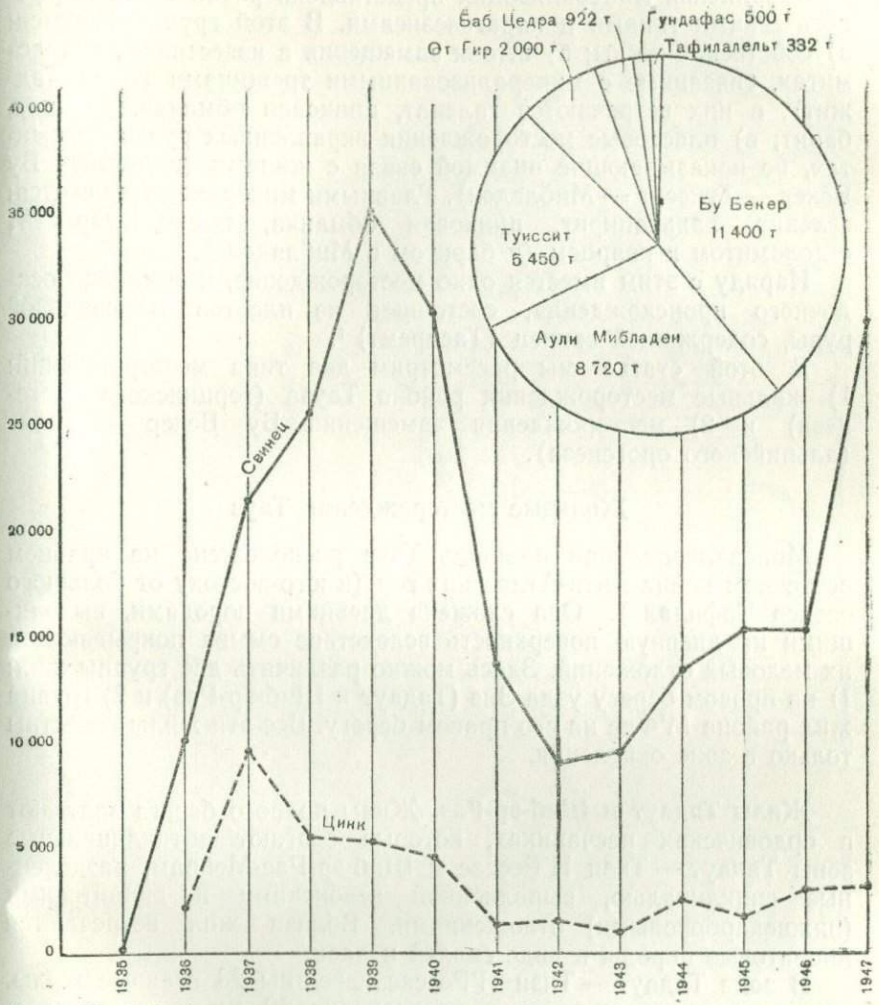
Образование свинцово-цинковых руд в Марокко происходило начиная с последнего периода докембрийского орогенеза и продолжалось вплоть до орогенических подвижек альпийского времени.

Последним докембрийским орогеническим движениям, вероятно, соответствуют жилки галенита и цинковой обманки в Джебель Сарро Централь.

Горообразовательные процессы герцинского времени сопровождались интрузиями основных пород и гранитов и свинцово-цинковой жильной минерализацией. Эта минерализация представлена серебросодержащим галенитом, цинковой обманкой,

---

[1] G. Jouravsky, F. Permingeat, J. Bouladon и J. Agard, инженеры отдела изучения месторождений Геологической службы Марокко.



Фиг. 54. а) Добыча свинцовых и цинковых руд в Марокко в период от 1935 до 1947 г. в тоннах коммерческой руды; б) распределение добычи по отдельным рудникам в 1947 г. в тоннах коммерческой руды (круговая диаграмма)

пиритом, халькопиритом, иногда арсенопиритом (Центральное Марокко) или серебросодержащим тетраэдритом (Рехамна — Джебиле). Жильными минералами являются барит, кварц (Гундафа Джебиле, Рехамна), иногда встречается немного флюорита (Центральное Марокко — Аули); в некоторых месторождениях жильную породу почти целиком слагают карбонаты, иногда сильно гематитизированные (Тауз).

Альпийская минерализация представлена различными морфологическими типами и парагенезисами. В этой группе имеются: а) собственно жилы; б) штоки замещения в известняках и доломитах, связанные с минерализованными трещинами (Бени Таджит); в них встречаются галенит, цинковая обманка, кальцит, барит; в) пластовые месторождения вкрапленных руд в доломитах, не показывающие видимой связи с жилами (например, Бу Бекер — Туиссит — Мибладен). Главными минералами являются: галенит, халькопирит, цинковая обманка, пирит, марказит с доломитом и кварцем (и баритом в Мибладене).

Наряду с этим имеется одно месторождение, несомненно осадочного происхождения, состоящее из пластов марганцовой руды, содержащей свинец (Тасдремт) [1].

В этой статье мы рассмотрим два типа месторождений: 1) жильные месторождения района Тауза (герцинского орогенеза) и 2) месторождения замещения Бу Бекер — Туиссит (альпийского орогенеза).

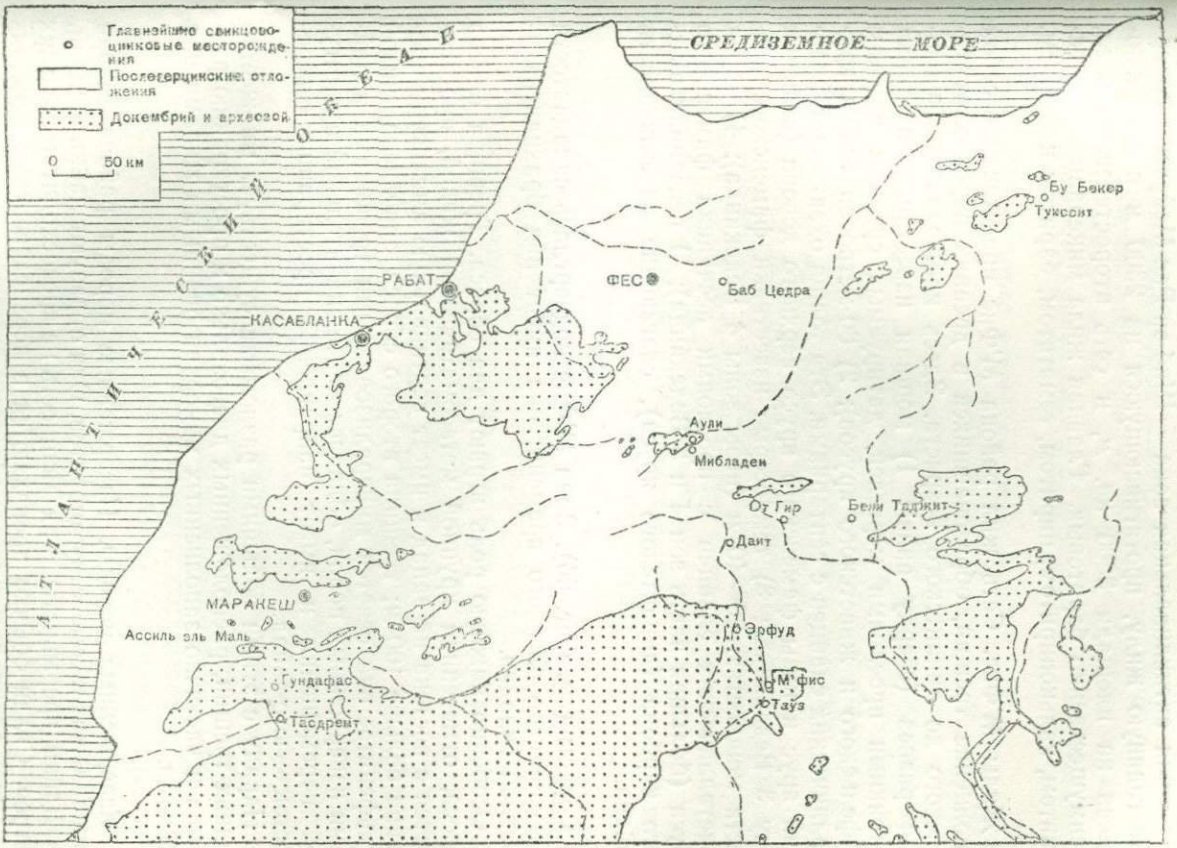
Жильные месторождения Тауз

Минерализованная площадь Тауз расположена на крайнем восточном конце Анти-Атласских гор (к юго-востоку от большого оазиса Тафилале). Она сложена древними породами, выходящими на дневную поверхность вследствие смыва покрывающих их меловых отложений. Здесь можно различить две группы жил: 1) на правом берегу уэда Зиз (Тадаут и Шиб-эр-Раз) и 2) группа жил района М'Фис на его правом берегу. Все эти жилы известны только в зоне окисления.

Жилы Тадаут и Шиб-эр-Раз. Жилы правого берега залегают в ордовикских песчаниках, которые слагают антиклинальные зоны Тадаут — Тизи Н'Рессас и Шиб-эр-Рас-Мейрам, разделенные синклиналью, выполненной девонскими и динантскими (нижнекарбоновыми) отложениями. Вблизи жил встречаются диоритовые породы в виде силлей и даек.

В зоне Тадаут — Тизи Н'Рессас известны 23 главные жилы, общее протяжение которых превосходит 20 *км*, а площадь — 18 000 *кв. м*. Парагенезис минералов следующий: галенит, халькопирит, пирит, барит, кварц, сидерит. Зона окисления этих жил особенно интересна. В ней встречаются: ванадинит (добывавшийся до 1943 г. в количестве 165 *т*), пироморфит, коронадит, гематит эпигенетический по карбонату, церуссит, англезит, малахит, борнит, гипс и халцедон.

[1] К сожалению, автор не приводит каких-либо фактических данных в обоснование «несомненно осадочного происхождения» свинцового месторождения Тасдремт. (*Прим. ред.*)



Фиг. 55. Геологическая схема Марокко.

Вторая антиклинальная зона — Шиб-эр-Рас-Мейрам — содержит главную жилу, протягивающуюся на 2300 *м* и обнажающуюся на площади 3500 *кв. м*, и сеть второстепенных жил, преимущественно баритовых. Главная жила минерализована галенитом, халькопиритом, пиритом, гематитом, баритом и кварцем.

Жилы М'Фис. Сеть жил района М'Фис представляет собой заполнение трещин, образовавшихся в древних породах от девонского до динантского возраста. Здесь наблюдается следующий разрез (сверху вниз): 1) мощная известняковая толща с тонкими прослоями мергелей, датируемых средним девоном (эйфельского и живетского ярусов); 2) 80-метровая толща кристаллических сланцев с септариями. Эта толща охватывает франский ярус и низы фаменского яруса верхнего девона (включая зону 3 Ведекинда); 3) темносерые известняки фаменского возраста мощностью 20—40 *м* (низы зоны 4 Ведекинда); 4) серия кристаллических сланцев с прослоями песчаника фаменского яруса (бóльшая часть зон 4 и 5 Ведекинда); 5) песчаники нижнего карбона (динантского яруса), слагающие возвышенности района.

Сбросы (см. фиг. 56). Зона М'Фис подверглась складчатости в конце вестфальского времени; она имеет вид брахиантиклинальной складки.

Особенно важную роль играют два сброса. Трещина одного сброса, отмеченная крупной метасоматической жилой, протягивается с востока на запад и имеет вертикальную амплитуду смещения больше 100 *м*; трещина второго сброса заполнена жилой вульфенита; она сечется минерализованными трещинами и дайками изверженных пород, обладает менее значительной амплитудой перемещения и имеет направление простирания северо-восток — юго-запад.

Наряду с этими большими разломами существует множество мелких трещин, расположенных диагонально к простиранию разломов и частично заполненных минерализованными жилами или дайками.

Изверженные породы. Изверженные породы района М'Фис принадлежат к семейству диоритов. Они образуют дайки и силлы.

Дайки прерывисты, и их мощность не превосходит нескольких метров. Силлы обычно проявляются в верхнедевонских кристаллических сланцах и иногда образуют многочисленные согласно залегающие интрузии, соединяющиеся на глубине.

В более мощных силлях можно различить светлые крупнозернистые породы, образующие их середину, и темные мелкозернистые породы краевой части.

Минералогический состав этих пород следующий: известково-натровый полевой шпат (иногда олигоклаз, иногда андезин), амфибол и биотит, часто хлоритизированные, апатит, редко циркон, магнетит, пирит, иногда халькопирит.

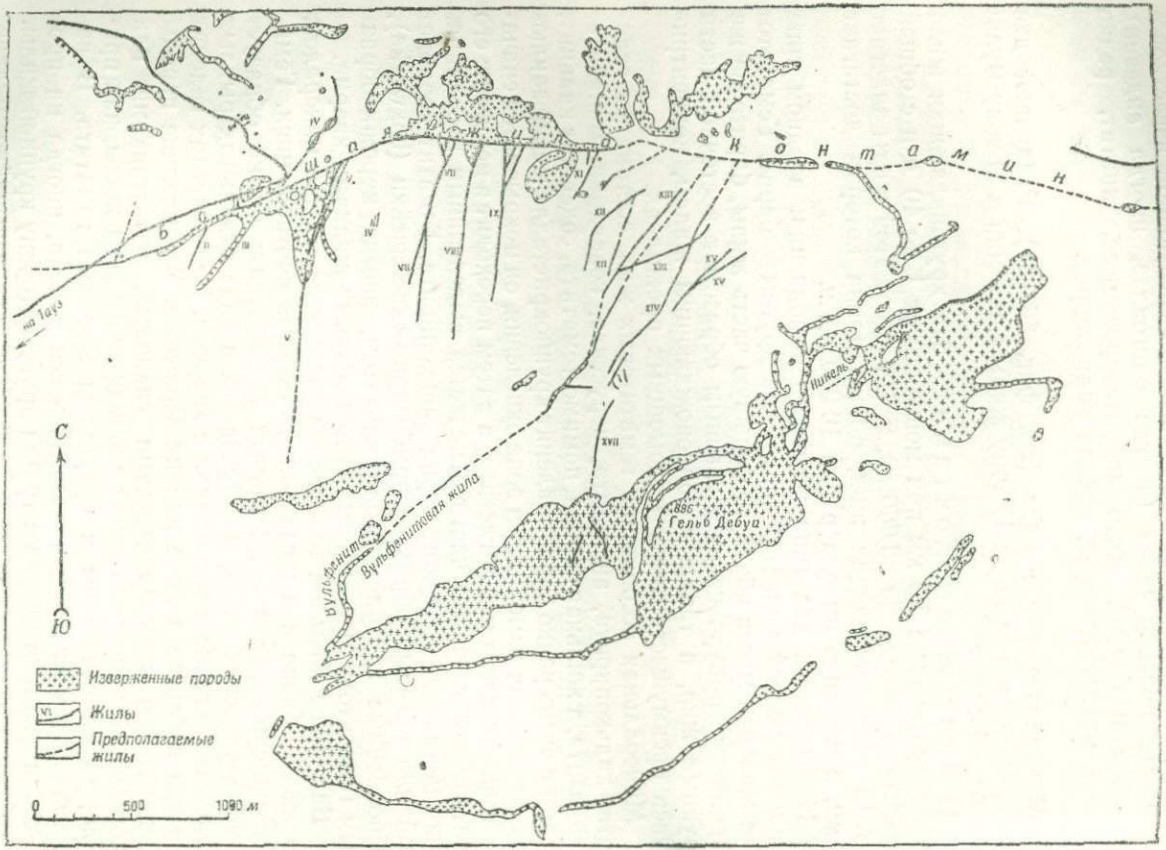
Минерализованные зоны (см. фиг. 56—57). Различают две минерализованные зоны: 1) зону жилы Контамин и 2) зону Вульфенитовой жилы.

1) Зона жилы Контамин. Эта крутопадающая жила имеет протяжение 5,5 *км* при мощности от 1 до 40 *м* и с общей площадью выхода до 20 000 *кв. м.* На юг от этой жилы залегает до 15 сопровождающих жил, общая длина которых достигает 8 *км*, а площадь выхода равна 10 000 *кв. м.*

Наблюдается два типа жильного выполнения: в одном типе жильной массой является гематит, в другом — барит. Гематитовая жильная масса образует бóльшую часть жилы, баритовое же заполнение приурочивается главным образом к восточной части крупных жил, а также к сопровождающим жилам, концентрируясь преимущественно в маломощных прожилках.

Минеральная ассоциация гематитовых жил состоит из галенита, халькопирита, англезита, церуссита, ковеллина, малахита, марказита, а жильная порода, помимо гематита, содержит кальцит, кварц и очень редко барит. Галенит крупнокристаллический заключен в гематите; изменяясь в зоне окисления, он покрывается сначала тонкими пленками англезита, а затем переходит в церуссит; его контакт с англезитом часто отмечается выделениями ковеллина. Иногда галенит содержит зерна халькопирита. Гематит коричневый или красный образует ромбоэдрические ячейки (boxworks), выполненные внутри иногда кальцитом, иногда порошкообразным гематитом. Местами он сечется тонкими жилками кварца.

Баритовое жильное заполнение состоит из тех же минералов, но иного облика и в иных количественных соотношениях. Гематит присутствует в подчиненных количествах; он не образует ромбоэдрических ячеек, а встречается в виде отдельных рыхлых скоплений или же в ассоциации с кварцем. На контактах галенит рассеян в барите в виде мелких зернышек. Вмещающие породы представлены кристаллическими сланцами, известняками или диоритом. В кристаллических сланцах зальбанды жилы, как правило, менее отчетливы и прорезаны жилками гематита. В известняках гематизации подверглась вся порода, иногда на протяжении десятков метров в ту или другую сторону крупной жилы. Ромбоэдры гематита в этих известняках чрезвычайно мелкие. Галенит в них встречен не был. Изменение диорита в зальбандах жил выражено гораздо менее резко и проявляется в образовании железистых пленок и прожилков по плоскостям спайности полевого шпата.



Фиг. 57. Сеть рудных жил района М'Фис и выходы на поверхность интрузивных пород.

2) Зона вульфенитового разлома. Этот разлом, простирающийся в северо-восточном направлении, был прослежен на протяжении 5,5 *км*. Несомненно, он продолжается и далее на юго-запад, а, возможно, также и на северо-восток. Во многих местах разлом минерализован, но точные границы распространения минерализации установить трудно.

В юго-западной части рудное тело менее мощное (порядка 1 *м*), боковые породы представлены кристаллическими сланцами и диоритом. Здесь встречаются галенит, халькопирит, ковеллин, вульфенит, пироморфит, англезит, церуссит, малахит, кварц и кальцит. Кристаллы вульфенита выполняют жеоды. Галенит крупнокристаллический, изменяющийся сначала в англезит, а затем в церуссит. Халькозин, ассоциированный с ковеллином, присутствует в изобилии. Жильная масса состоит главным образом из кальцита, грубокристаллического, иногда эпигенетического по гематиту. Парагенезисы с вульфенитом отличаются от прочих богатым содержанием меди и обилием кальцита.

В северо-восточной, еще мало разведанной части зоны вульфенит встречен не был. В качестве жильных минералов местами появляются кварц и барит, замещающие главный жильный минерал кальцит.

Происхождение гематита в жилах М'Фис. На основании полевых наблюдений и микроскопического изучения можно сказать, что одна часть гематита образовалась на месте путем окисления сидерита, другая же, гораздо более значительная, его часть обязана своим происхождением действию железосодержащих растворов на кальцит.

Природа и последовательность проникновения гидротермальных растворов в жилах района М'Фис. Существуют следующие предположения о природе и последовательности гидротермальных образований района: 1) первая стадия характеризуется отложением галенита и в небольшом количестве — халькопирита в сидеритовом и кальцитовом вмещающем материале; 2) вторая стадия отмечена отложением галенита и барита в качестве жильных минералов; подчиненными минералами являются сидерит и кальцит; растворы этой стадии были бедны медью; 3) за этими двумя стадиями минерализации следовала гематизация. Окись железа изменила карбонаты, одновременно окислился и заключенный в них галенит с образованием сначала англезита и впоследствии церуссита. Мелкие зерна галенита при этом практически исчезли; напротив, зерна галенита, заключенные в баритовую жильную массу, подверглись лишь слабому окислению.

Возраст и происхождение минерализации. Складчатость района Тауза относится к герцинскому возрасту. Разломы

(трещины) также относятся к герцинской складчатости, так как они захватывают палеозойские формации, не затрагивая меловых отложений.

Минерализация и смежные, расположенные вблизи месторождений изверженные породы имеют своим источником, вероятно, ту же самую диоритовую магму. Первыми внедрились магматические породы, за ними следовала минерализация, использовавшая преимущественно те же трещины, по которым проникали эруптивные дайки.

Ни изверженные породы, ни минерализация не затронули пород нижнего мела (гаммад). Отсюда следует вывод, что минерализация должна датироваться герцинской эпохой.

Глубина проникновения минерализации. Поверхность современной эрозии находилась в момент внедрения силлей, даек и минерализации под толщей осадочных пород мощностью порядка 3000 *м* (т. е. под объединенной мощностью пород визейского, намюрского и вестфальского ярусов). Таким образом, согласно классификации Ниггли (1941 г.), мы здесь имеем дело с гипабиссальной зоной.

Месторождения замещения Туиссит — Бу Бекер

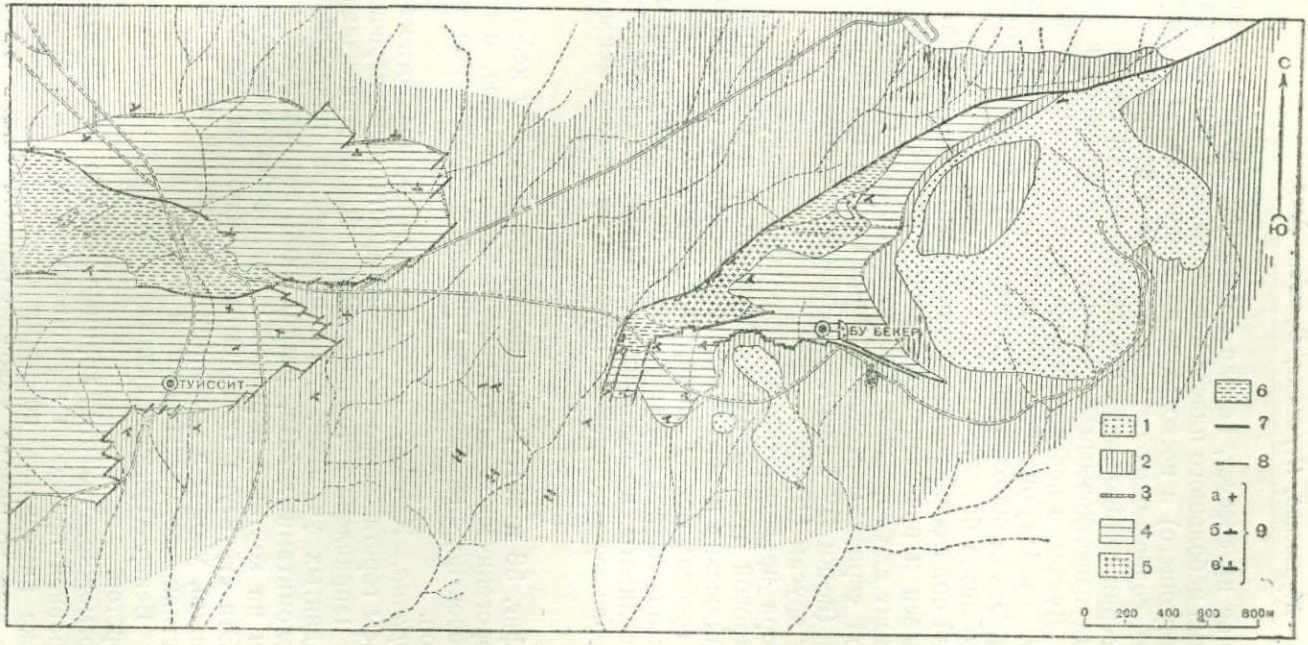
Введение. Горнорудный район Туиссит — Бу Бекер, расположенный приблизительно в 40 *км* на юго-запад от Уйда вблизи алжиро-марокканской границы, занимает первое место в существующей добыче свинца в Марокко (фиг. 54).

Это месторождение замещения и вкрапленных руд залегает в лейасовых доломитах и не обнаруживает никакой видимой связи с изверженными породами.

Условия залегания (фиг. 58). Минерализация приурочена к пласту лейасового доломита мощностью 30 *м*, залегающему между палеозойским основанием, состоящим из кристаллических сланцев, и мощной серией келловейских мергелей.

Толща пород палеозойского основания сложена кристаллическими сланцами верхневизейского яруса (Лукас, 1942 г.), переслаивающимися с линзами туфов, тонкими песчаниками и известняками, содержащими органические остатки. Вся эта толща пород, сильно смятая и нарушенная в процессе явлений вулканизма (подводных излияний и интрузий пород визейского возраста) подверглась в пермское время сильной эрозии, которая превратила ее в пенеплен. На этом первичном цоколе не сохранилось никаких пермо-триасовых отложений.

Трансгрессия имела место в течение среднего лейаса, вероятно, домерьянского возраста, и доломитовая серия, которая нас



Фиг. 58. Геологическая карта района Туиссит — Бу Бекер.

1 — песчаники Бу Бекер; *2* — келловей и оксфорд (мергели и песчаники); *3* — батские железистые оолиты; *4* — домерско-байосские доломиты и известняки; *5* — изверженные породы герцинского цикла (дациты); *6* — верхневизейские сланцы; *7* — сбросы; *8* — нормальный контакт; *9*: *а* — горизонтальное залегание, *б* — почти вертикальное залегание, *в* — падение 5—15°.

в данном случае интересует, начала отлагаться непосредственно после отложения небольшого пласта известнякового конгломерата (часто отсутствующего) и нескольких линз известняков (средней мощности 2 *м*), содержащих остатки полипов и водорослей. Эта *доломитовая серия мощностью 30 м перекрывается синеватыми* и желтоватыми известковыми мергелями, относящимися к *батскому ярусу (Лукас), и переходит в железосодержащий оолитовый* горизонт, изобилующий органическими остатками мощностью 3—6 *м*. Эта серия охватывает пласты от верхов домерьянского яруса до низов батского.

Железистый оолитовый горизонт, датируемый верхним батом, почти непрерывен и представляет большой интерес как маркирующий горизонт для горных и разведочных работ. Он перекрывается мощной серией мергелей (150—200 *м*) с песчанистыми пропластками (пески Бу Бекер), относимой к келловейскому и оксфордскому ярусам (Лукас).

Верхняя юра представлена в нескольких километрах к востоку 600-метровой толщей лузитанских слоев и 600-метровой толщей кимериджских и портландских известняков, образующих пограничный гребень между Алжиром и Марокко.

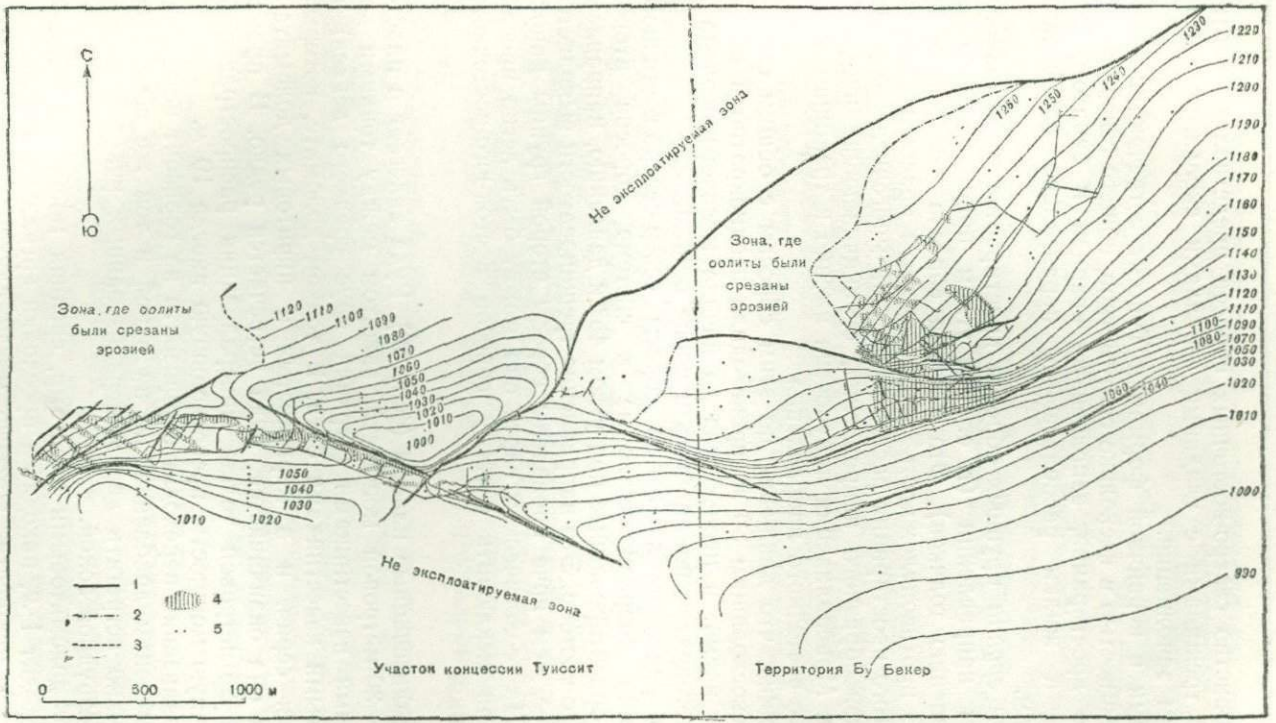
Все отложения лейаса и доггера имеют пологое падение; они *очень слабо волнисты, но смещены многочисленными сбросами.* Отложения верхнеюрского времени подверглись гораздо меньшим нарушениям.

Сбросы (фиг. 58 и 59). Район *подвергся сильному действию* альпийской орогенической деятельности. Серия толчков, направлявшихся, вероятно, с юго-востока, привела к образованию двух систем сбросов.

Первая группа. К числу наиболее значительных относятся краевые сбросы горста северо-восточного простирания, перпендикулярные к направлению толчков. Эти сбросы ограничивают серию приподнятых участков, где соприкасаются палеозойские породы с доломитами лейаса, разделенные зонами дробления в 100—200 *м* на контакте мергелей и келловейско-оксфордских песчаников. Эта структура «клавишей», сменяющаяся келловейскими мергелями, уходит в восточном направлении под мощные песчано-известняковые массы верхней юры.

Зона Бу Бекер—Туиссит занимает восточную оконечность одного из горстов.

Очень возможно, что эти крупные сбросы соответствуют участкам неравной прочности первичного фундамента. Они, несомненно, уже намечались *во время отложения лейаса*, в то время, когда еще до начала мелового периода легкое оседание положило начало будущим грабенам. В конце олигоцена образование сбросов возобновилось в очень больших размерах.



Фиг. 59. Подземный рельеф основания батского оолитового горизонта; маркирующий горизонт на кровле серии пачки минерализованных доломитов, показывающий распределение разрабатываемых минерализованных пластов.

1 — важнейшие линии разломов (ориентировочно); *2* — выходы, где установлены оолиты батского возраста; *3* — выходы, где предполагается наличие оолитов батского возраста; *4* — зоны промышленного оруденения; *5* — буровые скважины.

Большинство северо-восточных сбросов представлено плотно сжатыми трещинами с гладкими зеркалами скольжения и не имеющими заполнения.

Местами в первичной формации Туиссит встречаются серии жилок мощностью в несколько сантиметров, общего север-северо-западного простирания, заполненные кварцем и баритом. Эти трещинки и жилки располагаются параллельно альпийским подвижкам.

Вторая группа крупных сбросов простирается в восток-юго-восточном направлении (т. е. под углом приблизительно 45° к направлению толчков). Эта система сбросов называется Бу Бекер. В противоположность плотно сжатым краевым сбросам, сбросы этого простирания расщепляются на многочисленные трещины разнообразного направления, ограничивающие нарушенные зоны. Минерализация приурочена именно к трещинам этого восток-юго-восточного направления.

Возможно, что движения по этим сбросам с общим смещением, превосходящим 50 *м*, происходили неоднократно в послелейасовое время: в первый раз до начала мелового периода и затем многократно повторялись в конце олигоцена.

Очень редко наблюдаются сбросы север-северо-восточного простирания (перпендикулярные к системе сбросов второй группы), ориентированные под углом 45° к давлению, направленному с юго-востока. Это направление трещиноватости выявляется тем слабее, чем ярче проявлены сбросы второй группы направления. На геологической карте оно может быть легко прослежено, если исключить систему сбросов восток-юго-восточного простирания.

Минерализованные пласты (фиг. 59). Руда залегает в пласте доломита 30-метровой мощности, зажатом между тонкими домерьянскими известняками (верхний ярус среднего лейаса) и мергелистыми известняками бата. В тонком доломите, которым начинается серия, и в мергелистых и пиритовых доломитах, которыми она оканчивается, руда встречается редко. В промежуточной 25-метровой толще минерализация распространяется на различную мощность, превосходящую иногда 10 *м*.

Минерализация переходит с горизонта на горизонт по промежуточным зонам дробления, но на одной и той же вертикали редко можно встретить два минерализованных участка, разделенных безрудной зоной.

Между доломитовыми пластами, средняя мощность которых не превосходит 1 *м*, находятся прослойки аргиллита в несколько сантиметров мощности, которые могли служить проводниками минерализации. Эти аргиллитовые прослойки способствовали горизонтальному скольжению пластов, о чем свидетельствуют

зеркала скольжения на плоскостях горизонтальных смещений и присутствие обломков доломита в заполнении трещин.

На горизонтальном плане зоны минерализации представляются в виде полос, достигающих 50 *м* в длину, простирающихся в восток-юго-восточном направлении. Эти полосы контролируются флексурами или трещинами сбросов со смещением до 1 *м*, которые относятся к восток-юго-восточной системе сбросов. Крупные сбросы, принадлежащие к этой системе, иногда несут минерализацию, иногда лишены ее. Это также относится к крупным сбросам северо-восточного простирания, т. е. к системе краевых сбросов, окаймляющих горст.

Возраст минерализации. Из всего сказанного явствует, что минерализация предшествовала последней фазе возобновившейся сбросовой деятельности и является более поздней, чем первая фаза посленижнемеловых нарушений. Следовательно, минерализация по возрасту моложе мела и, вероятно, предшествовала миоцену.

Руда. Руда представлена вкрапленностью галенита в доломитовой жильной массе со средним содержанием свинца, по данным добычи, 7% в Бу Бекере и 5% в Туиссите.

Что касается доломита (всегда чистого), то в нем различаются два типа:

а) *Первичный доломит,* т. е. сохранившийся в той форме, в какой он был отложен в лейасовом море или какую он принял после процесса изменения, сопровождавшего отложение. Это мелкозернистый серный доломит (с кристаллами размером 0,5 *мм*).

б) *Вторичные доломиты,* образовавшиеся в результате растворения и перекристаллизации первичного доломита. Эта вторичная доломитизация, происшедшая без какого-либо воздействия извне, изменила половину лейасовых доломитов. Наиболее обычен в этом типе очень крупнозернистый доломит (крупность зерна 2—5 *мм*), заполняющий пустоты растворения (жеоды и жилки в несколько сантиметров) в первичном доломите.

Оруденение представлено также двумя типами:

1) Тип I, метасоматический, характеризуется развитием мелкозернистой (0,5 *мм*) галенитовой и сфалеритовой вкрапленности в первичном доломите. Очень тонкие иголки кварца (0,05 *мм*) образуют агрегаты вокруг конкреций галенита и цинковой обманки. Цинковая обманка светлая, не содержащая железа. Содержание свинца в руде в два раза больше содержания цинка. Содержание серебра превосходит 500 *г* на тонну 70-процентного свинцового концентрата.

2) Тип II, заполнения пустот, развит в верхних частях месторождения; галенит здесь в виде крупных зерен (1—2 *мм*) ассоциирует с вторичным доломитом в заполнении жил и жеод, образовавшихся в результате растворения первичного доломита. Никакого другого жильного материала, кроме доломита, не обнаружено; в частности, полностью отсутствует кварц. Содержание серебра очень невелико (200 *г* на тонну галенитового концентрата). Этот второй тип оруденения представляет выполнение пустот в отличие от первого типа, который охватывает явления собственно замещения.

Необходимо отметить в руде первого типа присутствие рассеянного пирита в виде сферолитов размером 0,01 *мм*, сопровождающих кварц, галенит и цинковую обманку. Иногда этот мелкозернистый пирит мигрирует в первичный доломит.

Под влиянием гидротермальных растворов первичный доломит иногда давал начало силикатам магния (хлориту и антигориту), которые концентрировались вместе с нерастворимыми примесями на поверхности аргиллитовых пропластков; это относится в равной мере к руде и первого и второго типов.

Медь в форме халькопирита присутствует во многих местах месторождения в руде как того, так и другого типа, но ее содержание ничтожно. Малахит встречается почти повсюду.

Порядок кристаллизации. Ниже приводится схематически последовательность кристаллизации, соответствующая обоим типам минерализации.

Тип I или замещения	Мелкозернистый халькопирит (0,05 *мм*) как замещение в первичном доломите
	Мелкозернистый пирит (0,01 *мм*) и кварц в форме бипирамидальных иголок (0,05 *мм*).
	Цинковая обманка (0,5 *мм*) замещения
	Мелкозернистый галенит замещения (0,2 *мм*)
Тип II или заполнения пустот	Доломит вторичный, заполняющий пустоты в первичном доломите
	Халькопирит грубозернистый, заполняющий пустоты
	Доломит вторичный
	Галенит крупнозернистый, заполняющий пустоты
	Доломит вторичный

Температура кристаллизации. Судя по светлому цвету цинковой обманки и сферолитовой форме пирита (коллоидального

происхождения), руда типа I (замещения) относится к низкотемпературным рудам (ниже 100°). Вторая фаза минерализации (заполнения пустот), которая соответствует руде типа II, протекала при еще более низкой температуре.

Окисление руды. Вблизи сбросов (особенно восток-юго-восточной системы, являющихся более открытыми) окисление иногда достигает высокой степени. Цинковая обманка изменяется в смитсонит и часто переходит в состояние растворимого госларита. Галенит окисляется на месте в англезит и затем в церуссит. Окисление и превращение англезита в церуссит сопровождается образованием гипса.

Происхождение минерализации. Месторождение Туиссит—Бу Бекер является месторождением телетермального типа, т. е. низкотемпературно-гидротермального, не обнаруживающего какой-либо видимой связи с интрузивными жилами или с батолитом.

Свинец никогда не встречается в трещинах нижележащих первичных палеозойских пород; только кварц и барит встречены в небольших количествах в системе прожилков северо-восточного простирания, продолжение которых в верхние горизонты неизвестно.

Что касается изверженных пород послеюрского времени, то они представлены потоками основных и лейцитовых лав, связанных с вулканизмом третичного периода района Уйда. В одном из покровов лав (холм Слия в 12 *км* на северо-запад от Туиссита) содержатся ксенолиты сиенита, возможно, отторженные от глубинного массива, который послужил источником минерализации (Лукас).

Вероятно, минерализация типа I, представленная метасоматическими телами, возникла ближе к источнику минерализации, чем минерализация заполнения пустот типа II. На самом деле небольшие размеры зерен указывают на большее обилие зародышей кристаллизации в руде типа I, чем в руде типа II. Присутствие игольчатого кварца, тесно связанного с рудой типа I, видимо, обусловлено привносом кремнезема минерализующими растворами. Наконец, сферолитовая форма пирита, встречаемого в руде типа I, говорит о коллоидной природе первоначального отложения; лишь в позднейшее время руда стала крупнозернистой.

Появление фронта полностью гидротермальной силификации, появление сфалерита и увеличение содержания серебра указывают на то, что горные работы, проводившиеся в юго-восточном направлении, приближаются к источнику свинцового оруденения. Невозможно сказать более по этому вопросу в настоящее время.

ДИСКУССИЯ

Э. Раген. В металлогеническом отношении, по моему мнению, здесь важны два момента. В Таузе непосредственное образование лимонита путем метасоматического замещения кальцита представляет собой явление, которое, пожалуй, можно встретить и в других месторождениях. Тектонические деформации сдвигов вдоль глинистых прослоев в Бу Бекере, вероятно, играли важную роль в образовании всех месторождений этого типа, даже в геологических формациях, внешне недислоцированных.

М. Леграй. Я выслушал это сообщение с большим интересом, потому что я недавно имел случай изучать вместе с М. Калембер минерализацию в Абд-эль-Кадере в Уарсенис (Алжир), имеющую большое сходство с месторождениями Бу Бекер (Марокко); жила содержит, кроме барита, еще и большое количество флюорита.

Я пользуюсь случаем, чтобы отметить, если в этом еще представляется надобность, как важно было бы уметь отличать осадочный доломит от известняков, доломитизированных под действием гидротермальных явлений.

Ж. Булядон (отвечает на вопросы). Роль домерских пород в импрепьяционной свинцовой минерализации в Марокко не является столь всеобъемлющей, как это принято считать. В Туиссит—Бу Бекер, в частности, домерские породы встречаются в крайне ограниченных размерах и, по всей вероятности, не содержат руд.

Здесь гораздо большее значение имеет характер отдельных пород и их взаимное расположение, чем их возраст. Повидимому, наиболее благоприятные условия имеются в известняковом или доломитовом горизонте, не очень плотном, залегающем на непроницаемом основании и перекрытом тоже непроницаемым слоем. Лейасовая трансгрессия в Марокко зачастую приводила к возникновению таких условий.

ЛИТЕРАТУРА

Lucas G., Description geologique et petrographique des Monts de Ghar Rouban et du Sidi el Abed (frontière algero-marocaine). *Bulletin du Service de la Carte Geologique de l'Algerie*, 1942.

Niggli P., Die Systematic der magmatischen Erzlagerstätten. *Schw. Min. Petr. Mitt.*, B. XXI, H. 2, 161, 1941.

ТУНИС

П. СЭНФЕЛЬД[1]

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА

Краткое содержание

Тунис расположен в передовой подзоне альпийской складчатости. Главные рудные месторождения локализованы в северной части Тунисской депрессии, между областью Кеф и Порто-Фарина, в связи с тектоническими нарушениями, отмеченными крупными сбросами. Некоторые из этих сбросов идут в меридиональном направлении, причем нередко они сопрягаются с триасовыми экструзивами; образование их, несомненно, относится к кульминационному этапу складкообразования (конец эоцена); другие (поперечные) нарушения относятся предположительно к послемиоценовому периоду.

Залежи эпитермального типа, обнаруженные в разных местах, как правило, у контакта с породами триасового периода, охватывают следующие типы: метасоматические месторождения в известняках, меридиональные жилы, сопровождаемые вкрапленными рудами, и жилы в поперечных трещинах.

Минерализация, повидимому, совпадает во времени с последней фазой складкообразования, причем триасовые экструзивы служили каналами для подъема растворов.

Статья содержит описание главнейших месторождений.

Географическое и геологическое положение

Тунис расположен в передовой краевой подзоне альпийской складчатости («мезоиды», по Ниггли). Складки, идущие в широтном направлении, в Алжире отклоняются близ алжиро-тунисской границы на север и приобретают северо-восточное направление, которое становится общим орогеническим направлением в центральном и северном Тунисе.

По направлению с севера на юг различаются следующие тектонические единицы: I — Галита; II — флишевая зона: фронтальная (Крумири) и прибрежная северо-западная (от Табарки до Бизерты); III — Тунисская синклиналь (sillon) от Кефа до Порто-Фарина: *а* — северная зона, характеризующаяся чешуйчатым строением и наличием чешуй экструзивного триаса, *б* — южная зона меловых куполов; IV — Тунисский хребет (от Кассерино до Туниса); V — подступы к пустыне Сахара; VI — платформа Сахары.

Рудные месторождения имеются во всех этих различных зонах, но сосредоточены они главным образом в Тунисской синклинали.

Так как изверженные породы в этой области не встречаются и, вероятно, находятся на большой глубине, то эта локализация

[1] P. Sainfeld, инженер-геолог Управления общественных работ в Тунисе.

месторождений, повидимому, обусловлена чисто тектоническими причинами: исключительно сильными в этой области нарушениями, явившимися следствием соединения двух горных цепей Атласа и загибания складок в северо-восточном направлении; к югу территория Туниса в тектоническом отношении приобретает все более и более спокойный характер.

Это нарушение характеризуется сбросами двух видов: 1) меридиональными, повидимому, наиболее значительными, так как здесь обычно наблюдаются выходы триасовых пород, а потому идущими на довольно большую глубину; слои экструзивного триаса приходят, таким образом, в соприкосновение с различными формациями до понтической включительно; 2) широтными, часто представляющими собой только трещины, но которые должны были в значительной степени возобновить перемещение по меридиональным сбросам, усиливая поднятие триаса.

Повидимому, имеются достаточные основания к тому, чтобы приписать этим сбросам возраст двух пароксизмов складкообразования в Тунисе, а именно: верхнего эоцена для первых и конца миоцена для вторых. Эта гипотеза подтверждается, впрочем, различными фактами.

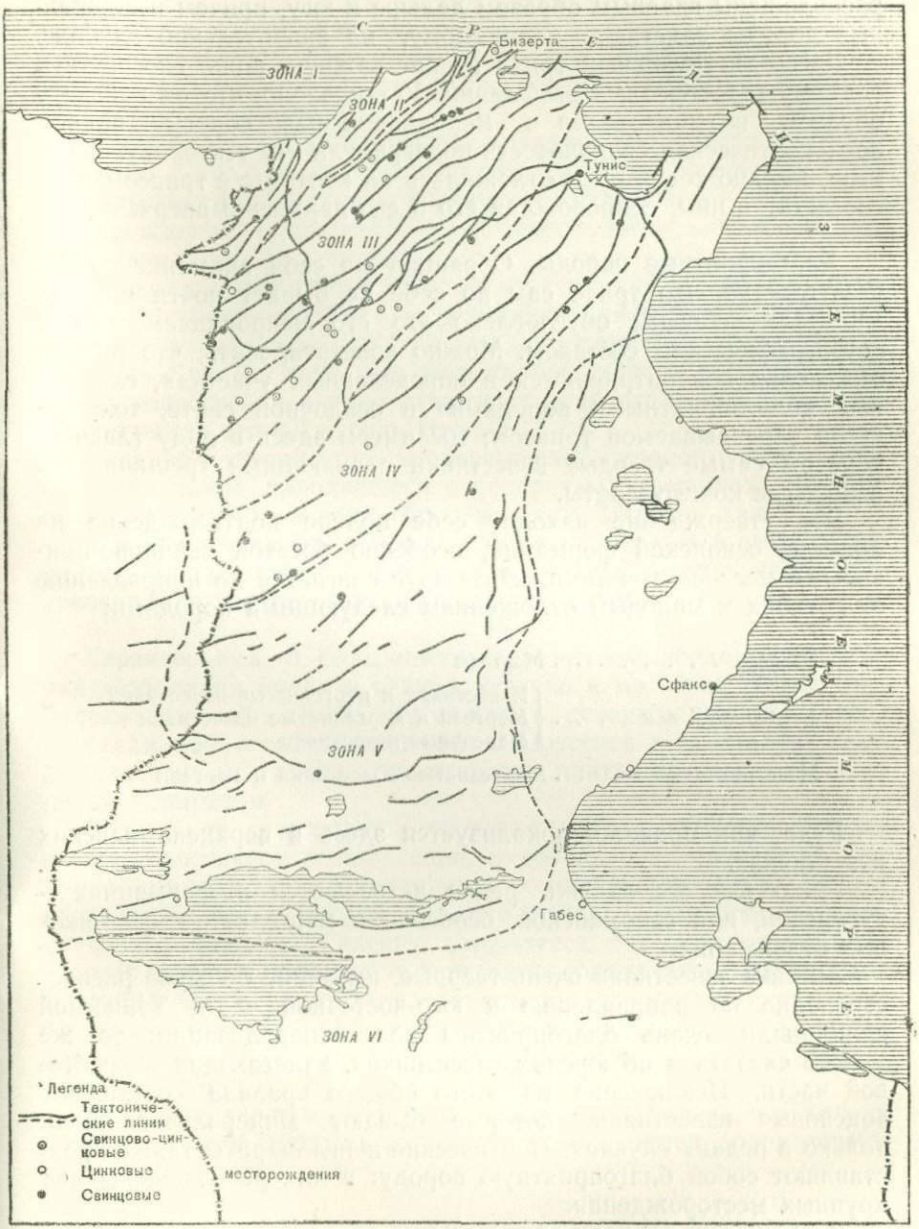
Мы увидим в дальнейшем, что минерализация во многих случаях находится в связи с выходами на поверхность триасовых пород; она имеет место во всем стратиграфическом ряду, начиная с пермских пород (Джебель Тебага) и кончая понтическими (Джебель Семен), проходя через юрские формации (Джебель Рессас), аптские (Сиди Амор Бен Салем), сеноманские (Федж эль Адум), эмшерские (Уэд Маден), кампанские (Джебель Халлуф), эоценовые (Туирёф).

Ниже будет показано, что, конечно, существуют также и формации, более благоприятные в связи с их известковым составом или брекчиевой структурой, в частности аптские, кампанские и понтические.

Металлогения

Роль триаса. Вследствие видимого отсутствия поблизости каких-либо изверженных пород металлогения рудных залежей в Тунисе остается неясной.

На побережье, в 60 *км* к северу от самого близкого свинцово-цинкового месторождения (Айн Аллега), находится архипелаг Галита, слагающийся зернистыми гранодиоритами и мелкозернистыми микрогранитами. Здесь имеется только несколько пиритовых и медьсодержащих мелких жил. Во флишевой зоне имеется еще несколько дацитовых или базальтовых штоков, пересекающих песчаники Крумири и также не находящихся в какой-либо взаимосвязи с рудными залежами. Эти последние



Фиг. 60. Тектоническая схема Туниса и распределение свинцово-цинковых месторождений.

расположены главным образом дальше к югу, причем изверженные породы залегают, повидимому, на значительной глубине.

Здесь экструзивный триас играет важную роль, способствуя подъему газообразных выделений. Установлено, что он каким-то образом инъицировался в меридиональные сбросы, причем послепонтическая складчатость подчеркнула эту тектонику. Вероятно, именно тогда руда отложилась на контакте с триасом и по соседству с ним, сопровождая его в его движении вверх.

Благоприятные породы. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что триас сам по себе не бывает почти никогда минерализованным; обусловлено это его непроницаемостью и петрографическим составом. Можно констатировать, что рудные отложения концентрируются в определенных участках, сложенных «благоприятными породами» в осадочной свите, тектонически перекрываемой триасом; мы имеем здесь в виду главным образом самые твердые известняки с зияющими трещинами и некоторые конгломераты.

Это утверждение находит себе полное подтверждение на примере сенонской формации, особенно богатой свинцово-цинковыми месторождениями. Этот ярус слагается по направлению от древних к молодым отложениям следующими породами:

Эмшер	Мергели
Кампанский век	Известняки и мергелистые известняки Мергели и мергелистые известняки Массивные известняки
Маастрихтский век . .	Мергелистые известняки и мергели

Руда, как правило, локализуется здесь в верхнекампанских известняках.

Точно так же залежи редко встречаются в формациях — туронской, или сеноманской, особенно в мергелисто-известняковых отложениях.

Аптские известняки очень твердые, имеющие большое распространение по направлению к юго-восточной части Тунисской синклинали, очень благоприятны для минерализации; то же можно сказать и об юрских известняках, залегающих в хребтовой части. Исключение из этого общего правила составляют эоценовые известняки, которые бывают минерализованными только в редких случаях. Понтические конгломераты также представляют собой благоприятную породу: в них расположены два крупных месторождения.

В некоторых случаях значительные сбросы в мергелях с брекчиевым или песчанистым выполнением могли обусловить и в них образование соответствующих залежей.

Характер месторождений. Тунисские месторождения относятся к эпитермальному типу: многочисленные образцы руд обнаруживают конкреционную структуру, указывающую на коллоидный характер осаждения.

Нами было высказано предположение, что минерализующие растворы были связаны с поднятием экструзий [1] триаса в меридиональные сбросы; таким образом, мы имеем здесь первый тип месторождения: жилы — сбросы с общим северо-восточным простиранием (тип Уэд Маден).

Минерализация могла контролироваться либо близлежащими благоприятными пластами в некоторых районах и выражаться в форме импрельяции их (например, понтические конгломераты Джебель Семен), либо, что встречается чаще, — в форме замещения известняков в виде пластовых жил, скоплений или метасоматических тел (Джебель Рессас).

Наконец, третий тип месторождений представляют собой истинные жилы, находящиеся в поперечных трещинах, обусловленных меридиональными сбросами (тип Джебель Халлуф).

В этих случаях почти всегда руда локализуется в виде «минерализованных рудных столбов» линзовидной формы, часто приуроченных к пересечениям двух систем сдвигов.

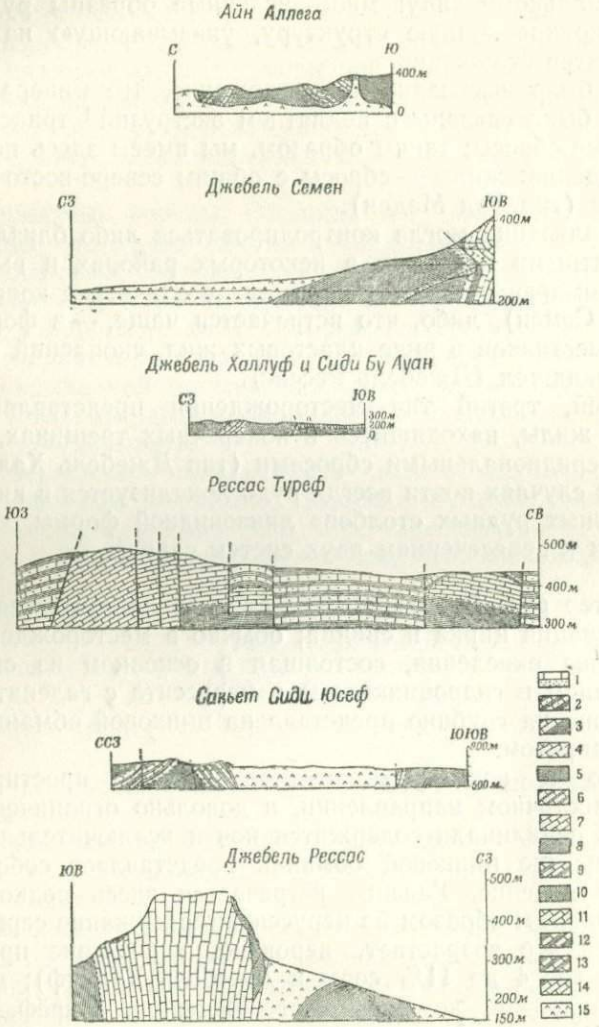
Характер руд. В большинстве случаев наблюдается постоянная ассоциация цинка и свинца; обычно в месторождениях проявлена зона окисления, состоящая в основном из смитсонита (с каламином и гидроцинкитом) и церуссита с галенитом; сульфидная зона на глубине представлена цинковой обманкой, галенитом и пиритом.

Однако в некоторых месторождениях, простирающихся в северо-восточном направлении, в довольно ограниченной зоне Тунисской синклинали содержится почти исключительно свинец, присутствие же цинковой обманки представляет собой только случайное явление. Галенит встречается здесь редко, и руда состоит главным образом из церуссита; содержание серы в рудах с глубиной все возрастает, вероятно, вследствие присутствия англезита (от 4 до 11% серы в Джебель Халлуф); мы имеем здесь в виду три крупных месторождения: Туирёф, Джебель Халлуф и Сиди Бу Ауан.

В Хедиль залежи понтического времени (Джалта и Джебель Семен) равным образом содержат только свинец (преимущественно церуссит).

---

[1] В оригинале очень нечетко говорится о роли экструзивного триаса в образовании месторождений, повидимому, речь идет о движениях по контакту с триасом, которые оказали влияние на направление рудоносных растворов. (*Прим. ред.*).



Фиг. 61. Разрезы[1] типичных для Туниса месторождений.

1—понтийские отложения: брекчиевые известняки, пески и конгломераты; *2*—миоцен: мергели, песчаники; *3*—олигоцен: песчаники, мергели; *4*—лондинские и лютетские известняки; *5*—суасонийские мергели; *6*—маастрихтские отложения: известковые мергели, мергели; *7*—верхнекампанские известняки; *8*—среднекампанские мергели; *9*—нижнекампанские отложения: известняки, мергели; *10*—эмшерские известняки; *11*—туронские известняки; *12*—сеноман: мергели, кварциты; *13*—неоком: мергели, известковые мергели; *14*—юра, лейас (?); *15*—триасовые гипсы, песчаники и брекчии.

[1] В связи с неразборчивостью оригинала индексы при условных обозначениях фиг. 61 опущены и разрезы могут рассматриваться лишь как приблизительная схема. (*Прим. ред.*)

Таблица 18

ДОБЫЧА ПРОМЫШЛЕННОЙ РУДЫ В ТУНИССКИХ РУДНИКАХ

Название рудника	Добыча, *т*						Предположения на 1948 г.	
	общий тоннаж на 1/I 1948 г.		добыча в 1938 г.		добыча в 1947 г.		свинец	цинк
	свинец	*цинк*	*свинец*	*цинк*	*свинец*	*цинк*		
Уэд Маден	14 600	—	942	—	1 361	—	1 400	—
Джебель Дис	*500*	*40*	—	—	18	—	—	—
Айн Аллега	24 000	18 000	1 036	—	—	—	—	—
Сиди Дрисс	11 000	—	—	—	—	—	—	—
Бешатёр	1 000	53 000	—	—	—	—	—	—
Федж Ассен	—	10 000	—	—	—	—	—	—
Сакьет Сиди Юсеф	51 400	58 400	—	—	493	2 045	500	2 000
Куша	11 000	—	—	—	—	—	—	—
Туирёф	*6 000*	155	—	—	—	—	—	—
Рессас Туирёф	23 000	—	1 632	—	1 008	—	2 000	—
Джебель Халлуф	129 400	—	3 640	—	3 000	—	3 000	—
Сиди Бу Ауан	88 600	—	4 000	—	2 730	—	3 000	—
Джебель Шара	8 000	—	—	—	—	—	—	—
Джебель Бен Амара	—	51 000	—	—	—	—	—	—
Хангет Кеф Ту	44 300	90 000	366	—	288	—	300	—
Сиди Ахмед	21 000	60 000	—	—	—	—	—	—
Табуна	4 600	2 000	361	—	88	—	—	—
Базина	60 900	—	1 963	—	786	—	—	—
Джебель Семен	—	—	—	—	—	—	115	—
Джалта	65 500	—	4 726	—	4 157	—	3 000 до 5 000	—
Саф Саф	*4 000*	—	—	—	—	—	—	—
Гари Алфайя	20 700	14 000	3 038	—	410	—	500	—
Кат Эль Хамра	34 000	—	—	—	—	—	—	—
Мелалис	1 900	—	240	—	—	—	—	—
Небёр	312	—	—	—	207	—	240	—
Уэд Кохол	6 000	—	175	—	145	—	300	—
Кэббуш Астурский	300	—	—	—	219	—	500	—
Джебель Кэббуш	7 500	4 000	—	—	—	—	—	—
Фэдж Эль Адум Нефат	19 000	37 000	213	—	174	—	500	—
Бу Киль	15	3 000	—	—	69	—	—	—
Джебба	18 000	9 000	785	—	—	—	—	—
Эль Хауария	3 000	—	1 009	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 18

Название рудника	Добыча, *т*						Предположения на 1948 г.	
	общий тоннаж на 1/I 1948 г.		добыча в 1938 г.		добыча в 1947 г.		свинец	цинк
	свинец	цинк	свинец	цинк	свинец	цинк		
Бу Жабер	38 000	18 000	—	—	—	—	—	—
Сиди Амор	149 200	—	2 342	—	2 462	—	3 500	—
Сидии	850	3 600	—	—	—	—	—	—
Лорбенс	3 000	19 000	—	—	—	—	—	—
Эль Ахуат	3 600	27 000	—	—	22	—	350	—
Кудиат эс Сафра . .	2 500	—	—	—	—	—	—	—
Кеф Ласфар	500	1 600	—	—	—	—	—	—
Джебель Азеред . .	—	12 000	—	—	—	—	—	—
Джебель Агаб . . .	1 500	—	—	—	277	—	350	—
Кеф Шамби	10 000	—	357	—	113	—	120	—
Секарна	5 400	21 000	468	—	—	—	—	—
Джебель Сердж . .	—	3 500	—	—	—	—	—	—
Джебилет Эль Кохоль	2 400	—	—	—	—	—	—	—
Загуан	1 000	42 000	—	—	—	—	—	—
Сиди эт Тайя	12 300	—	628	—	—	—	—	—
Джебель Рессас . .	106 200	107 000	1 030	50	1 262	2 818	1 275	2 220
Джебель Троцца . .	95 500	2 000	1 030	—	272	—	—	—
Туила Лореджа . . .	9 000	16 000	745	—	—	—	—	—
Айн Нуба	2 000	14 000	—	—	—	—	—	—
Всего . . .	Около 800 000	Около 700 000	30 726	50	19 561	4 863	25 500	4 220

Тунис в целом представляет собой, таким образом, металлогеническую провинцию, характеризующуюся ассоциацией свинца и цинка при почти полном отсутствии других элементов; исключение составляет пограничная полоса, где присутствуют, кроме того, сурьма, мышьяк и ртуть (область Гардимау); с точки зрения металлогении, эта последняя область должна быть присоединена к провинции Константин в Алжире, где такие месторождения встречаются часто.

На основании приведенных выше данных могут быть сделаны некоторые выводы, интересные в геологическом отношении:

1) крупные каламиновые месторождения (залежи или замещения в известняке) были заброшены вследствие обесценивания каламина как цинковой руды; к числу главных из них относятся: Сиди Ахмед, Хангет Кеф Ту, Бешатёр, Джебель Бен Амара и

Джебель Загуан. Имеющиеся здесь значительные зоны окисления являются признаком того, что дальше, глубже, надо искать сульфидные зоны. Такие поиски уже были с успехом проведены в Джебель Рессас и Сакьет Сиди Юсеф;

2) некоторые месторождения свинца истощены, по крайней мере в известных нам зонах; так, например, это имеет место в Джебель Троцца, Базина, Айн Аллега, Гарн Альфайя и Кудиат эль Хамра. В части этих месторождений вследствие интенсивной эксплоатации их богатых частей содержание руды снизилось в настоящее время до нерентабельных количеств;

3) сейчас из пятидесяти месторождений разрабатывается только около 20; мы рассмотрим здесь только наиболее важные из них — те, годовая продукция которых превышает 1 000 000 *т* руды промышленного значения. Таких месторождений имеется всего восемь: Джебель Рессас, Сиди Амор Бен Салем, Сакьет Сиди Юсеф, Джебель Халлуф и Туирёф, известные еще в древности, затем Сиди Бу Ауан, Джалта и Уэд Маден. Джебель Семен, открытое недавно, будет введено в эксплоатацию только к концу 1948 г.

Зона флиша. Эта зона заключает значительный разлом, протягивающийся в северо-восточном направлении и характеризующийся наличием чешуй триаса и выходов меловых отложений с немногочисленными рудоносными залежами (Уэд Маден, Джебель Дис, Сиди Дрисс — Айн Аллега).

Уэд Маден, самое крупное из этих месторождений, представляет собой жилу-сброс на контакте между сенонскими мергелями и известняками; это — линзовидное выделение комплексной руды (галенит и цинковая обманка; в рудах присутствует также Sb, As и Hg); вблизи этого рудного тела находятся вкрапленные руды в мергелях. Известные нам в настоящее время запасы составляют 15 000 *т* свинца и 7000 *т* цинка.

Тунисская синклиналь. Северная зона. 1) *Вкрапленные залежи в понтическом ярусе.* В Джальта и в Джебель Семен имеются две небольшие понтические синклинали; конгломераты и сбросовые брекчии вблизи триаса минерализованы с образованием церуссита и галенита. Имеющиеся запасы исчисляются в 34 000 *т* в Джальта и 20 000 *т* в Семен.

2) *Жилы-сбросы.* В Сиди Бу Ауан имеется типичная жила-сброс в мергелях, относящихся к нижнему эоцену и к миоцену; простирание сброса — северо-восточное, амплитуда его равна 10—30 *м*; вдоль сброса залегает известняковая брекчия мощностью 2—9 *м*, минерализованная церусситом и галенитом со средним содержанием свинца 12%; над этим пластом лежит прослой пустой красной глины мощностью от 2 до 7 *м*; висячее

крыло сброса сложено песчано-глинистым пластом мощностью от 3 до 20 *м*, импрегнированным рудой, причем содержание свинца здесь варьирует от 1 до 10%.

Запасы промышленной руды этого месторождения составляют около 27 000 *т*.

3) *Поперечные жилы.* На расстоянии около 1 *км* к северо-западу от сброса Сиди Бу Ауан возвышается холм Джебель Халлуф, сложенный кампанскими известняками, рассеченными рядом параллельных север-северо-западных трещин, выполненных церусситом. Запасы составляют здесь от 5000 до 6000 *т*.

Месторождение Рессас—Туирёф представляет собой полосу эоценовых известняков, пересеченных поперечными трещинами; известняки минерализованы церусситом и галенитом; здесь кажется, что, повидимому, полоса известняка возникла в связи с чешуйчатым надвигом и с обеих сторон граничит с мергелями по меридиональным сбросам, причем в участках пересечений наблюдается обогащение руды.

Запасы промышленной руды в настоящее время составляют 10 000 *т*.

4) *Смешанный тип.* Месторождение Сакьет Сиди Юсеф представляет собой сочетание обоих вышеописанных типов. Здесь имеется массив кампанских известняков, контактирующий с триасом вдоль широтной, минерализованной брекчиевой зоны. Массив этот разрезан рядом поперечных меридиональных трещин, также минерализованных. Здесь равным образом наблюдается обогащение рудой в участках пересечения. Запасы промышленных свинцово-цинковых руд составляют ориентировочно 7000 *т*.

Южная зона меловых куполов. Сиди Амор Бен Салем представляет собой тоже месторождение смешанного типа: жила-сброс простирается в север-северо-восточном направлении вдоль контакта триаса и аптских известняков; в известняках имеются пучки поперечных северо-западных трещин. Свинцовое оруденение (галенит и церуссит) приурочено к баритовой жиле.

Запасы составляют 7500 *т*.

Тунисский хребет. То же можно сказать и в отношении Джебель Рессас; это один из юрских массивов Тунисского хребта, поднимающийся посреди неокомских мергелистых известняков и образующий с ними тектонический контакт. Контакт отмечается местами присутствием триаса. В самом массиве наблюдаются меридиональные нарушения (с перекрытиями в Гранд Рессас) и поперечная трещиноватость.

И тут мы имеем дело также со смешанным типом минерализации — каламиновое оруденение, переходящее в сульфидной зоне в рудные тела и импрегнацию близлежащих известняков.

Известные нам запасы промышленных руд свинца и цинка составляют приблизительно 17 000 *т*.

Заключение

Тунисские месторождения дали в 1947 г. около 25 000 *т* промышленной руды против 31 000 *т* в 1938 г.; в 1948 г. добыча должна составить 27 000 *т*.

В ближайшие годы введение в эксплоатацию нескольких концессий и возобновление добычи на некоторых других предприятиях, а также применение более рациональных методов эксплоатации, вне всякого сомнения, позволят достигнуть довоенной цифры продукции.

Отрицательной стороной тунисских месторождений являются их относительно небольшие размеры и особенно чрезвычайная их разбросанность. Изучение обширных месторождений низкопроцентных руд еще только начинается.

С другой стороны, поисковые работы были энергично развернуты на всей территории, и открытие новых выходов руды на поверхности представляется мало вероятным, за исключением разве только пограничной области. Стадия поисковых работ здесь миновала, и теперь наступил новый этап — изучение и разведка; в этой области предстоит сделать еще очень много. Глубинные работы проводились здесь лишь на немногих месторождениях, причем именно на тех, которые в настоящее время обеспечивают добычу.

ПОРТУГАЛИЯ

Х. ГИМАРАЭНС ДОС САНТОС[1]

ГЛАВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦОВЫХ И ЦИНКОВЫХ РУД

Краткое содержание

В Португалии мало свинцовых месторождений, имеющих экономическую ценность.

Большинство месторождений принадлежит к следующим типам: сфалерит-галенит-пиритовому, сфалерит-галенитовому и каламиновому. Иногда минеральные ассоциации более сложны и включают висмутовые, никелевые и кобальтовые минералы.

Галенит встречается в качестве второстепенного рудного минерала в некоторых золото- и урансодержащих месторождениях в ассоциации с торбернитом и отенитом.

Все эти месторождения жильного типа с линзообразным залеганием руд; минерализация сосредоточивается в столбах или зонах, а промышленная руда заполняет небольшие группы трещин, а также проявляется в форме конкреций или включений рудных масс. Крупные минерализованные зоны редки.

Главные рудные месторождения расположены в северной части страны, к северу от реки Тахо (Тэжу).

Добыча свинца достигла наивысшего уровня между 1890 и 1900 гг. и была очень ограниченной в течение последних 15 лет.

Главную часть португальской продукции дали рудные площади Вуга и Каима, расположенные в центре страны; сейчас они стоят перед трудностями, обычными для рудников, эксплоатируемых в течение продолжительного времени.

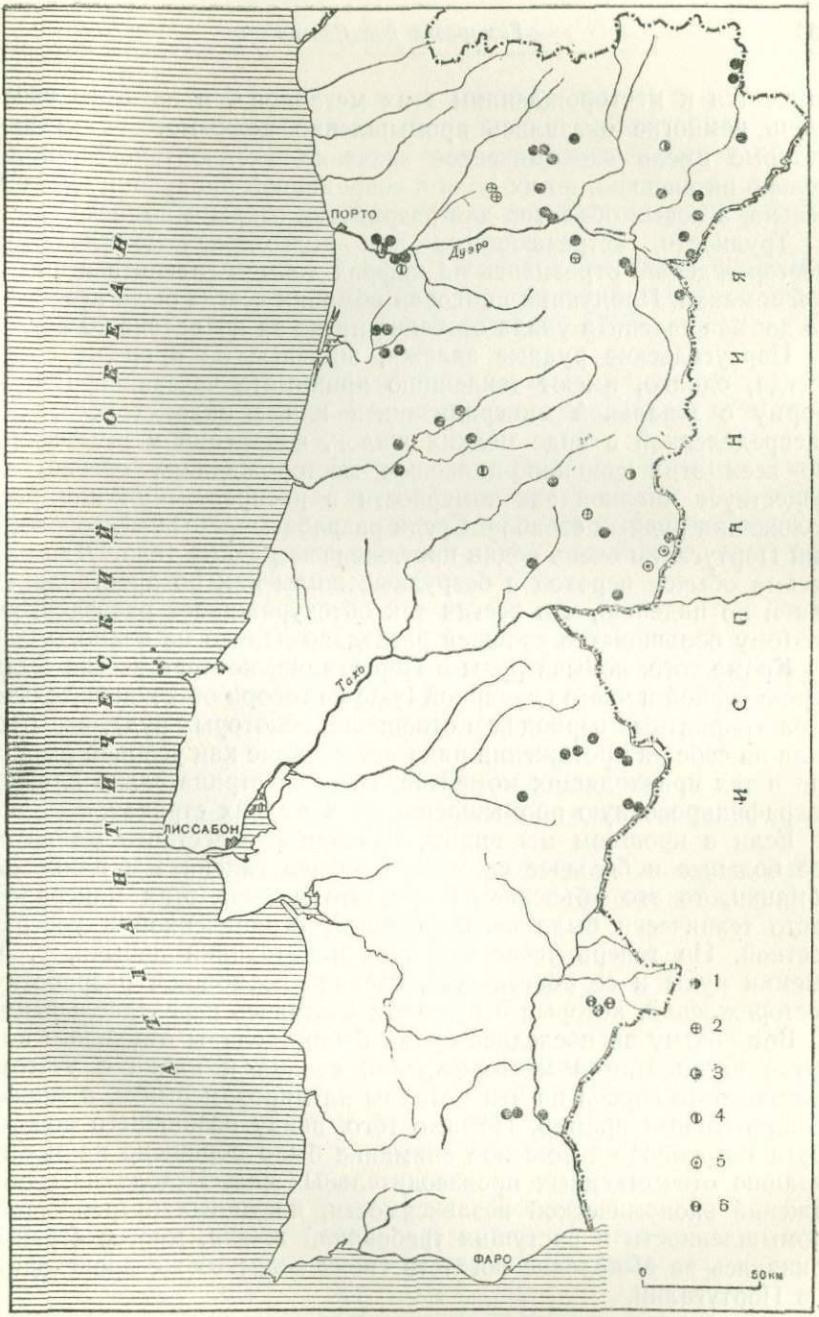
Добыча сфалерита всегда была невелика, сейчас же она практически совсем прекратилась.

Так как большинство этих рудных месторождений изучено неполностью или изучено только поверхностно, то точно определить запасы свинца и цинка не представляется возможным. В течение нескольких лет на месторождениях португальским правительством велась разведка с целью оценки богатств недр, но полученные результаты пока недоступны. Надо думать, что они покажут ограниченность имеющихся здесь запасов свинца и цинка и их недостаточность для удовлетворения нужд страны.

Введение

Хотя объектом первой концессии в Португалии (1836 г.) и было свинцовое месторождение, тем не менее общее число концессий на разработку месторождений свинца и цинка, данных до настоящего времени, ограничено. Из приблизительно 2200 горно-рудных концессий в Португалии не больше 100 (т. е. около 4,5%)

[1] J. L. Guimarães dos Santos, директор и уполномоченный отдела геологической разведки Центральной горно-геологической службы Португалии.



Фиг. 62. Главнейшие месторождения[1] свинцовых и цинковых руд в Португалии.

1—галенит; *2*—галенит и цинковая обманка; *3*—галенит и стибнит; *4*—комплексные сульфиды; *5*—галенит, вольфрамит и касситерит; *6*—каламиновая руда.

[1] Условные обозначения в оригинале неразборчивы. (*Прим. ред.*)

относятся к месторождениям этих металлов [1], а из этого числа лишь немногие оказались промышленно ценными. Те из них, которые имели экономическое значение, эксплоатировались довольно интенсивно, но их доля в современной продукции незначительна, а новых объектов для разработки открыто не было.

Трудности, встречающиеся при долголетней эксплоатации месторождений, отразились на цифрах добычи галенита и цинковой обманки. Продукция цинковой обманки всегда была невелика, но добыча галенита упала особенно низко за последние 20 лет.

Португальские рудные залежи, жильные по природе, почти всегда, однако, имеют тенденцию принимать чечевицеобразную форму с зональной минерализацией или в виде столбов, или распределенной в виде мелких жилок, конкреций и включений. Во всех этих свинцово-цинковых месторождениях обычно не существует никакой закономерности в распределении или расположении рудных столбов. Среди разрабатываемых месторождений Португалии очень редки протяженные рудные тела. Для них весьма обычен переход в безрудные жилы как по простиранию, так и по падению, что всегда так обескураживает разведчиков; поэтому большинство залежей разведано далеко не полно.

Кроме того, добыча руды в Португалии, которая всегда была ограниченной и часто случайной (уже не говоря об исключительно неблагоприятных периодах в отношении некоторых руд), испытывала на себе на протяжении ряда лет влияние как условий рынка, так и тех привходящих моментов, которые отрицательно влияют на рафинировочную промышленность в мелких странах.

Если в прошлом мы видим, начиная с известного момента, все большее и большее снижение добычи галенита и цинковой обманки, то это объясняется тем, что добыча этих минералов часто технически была несовершенной, ограниченной и поверхностной. Но теперь усовершенствование техники добычи, т. е. выемки руды и ее обогащения, сделало возможной разработку месторождений, которые в прошлом считались нерентабельными.

Вот почему за последнее время были сделаны отдельные попытки эксплоатации месторождений свинца и цинка с учетом повышенного спроса на эти металлы на мировом рынке, а также поощрительных премий. Помимо того, ввиду возникшего нового круга потребностей большое внимание было обращено на мобилизацию отечественных производительных сил. Исходя из соображений экономической независимости, насущных потребностей промышленности и растущих требований жизни, многие страны принялись за выявление богатств своих недр; то же происходит и в Португалии.

---

[1] Согласно португальскому рудному законодательству, всякая металлорудная концессия должна иметь площадь не более 50 *га*.

Португалия стала в значительно большем масштабе, чем в прошлые годы, уделять внимание поискам и разведкам рудных богатств страны, а также поощрять частную инициативу в этой области.

С этой целью Португалия с 1941 г. приступила к выявлению богатств своих недр.

Что касается свинца и цинка (которые не были включены в первую очередь исследований), то разведка месторождений этих металлов уже начата, хотя о результатах ее говорить еще рано.

Некоторые рудные площади разведаны геофизическими методами. На некоторых месторождениях текущая добыча ведется на государственные средства.

По всем месторождениям и рудным площадям собраны основные данные о проведенных исследованиях, отчеты о предшествующих работах и т. д.; проведены также топографическая, геологическая и рудничная съемки, что позволило составить планы будущих поисково-разведочных работ.

По выполнении этих планов можно будет установить с некоторой долей достоверности размеры запасов португальских месторождений. Без этого при явном недостатке данных всякая попытка определения запасов португальских свинцово-цинковых руд может дать только ненадежные результаты.

Добыча

Добыча свинца и цинка в Португалии показана в приводимой табл. 19.

Основная масса галенита была добыта в месторождениях Брасаль — Мальяда, расположенных в горно-рудном районе Каима — Вуга.

Таблица 19

ДОБЫЧА СВИНЦОВОЙ И ЦИНКОВОЙ РУДЫ В ПОРТУГАЛИИ

Галенитовая руда с 65% Pb		Сфалеритовая руда с 35% Zn	
годы	добыча, *т*	годы	добыча, *т*
1892—1900	19 063	1892—1900	217
1901—1910	6 381	1901—1910	2
1911—1920	8 979	1911—1920	1 850
1921—1930	3 969	1921—1930	2 088
1931—1940	597	1931—1940	79
1941—1947	2 100 [1]	1941—1947	00 [1]

[1] Цифра подлежит проверке.

Минеральные ассоциации

Португальские руды свинца и цинка, как правило, имеют общее происхождение. С промышленной точки зрения, их проявления иногда являются примером простой минерализации; в таких случаях преобладание свинца или цинка выражено настолько ярко, что тот или другой металл совершенно отсутствует и месторождение может считаться или только свинцовым, или только цинковым (с серебром или без него).

Пирит присутствует во всех случаях, причем иногда в больших количествах. Поэтому можно сказать, что большинство месторождений Португалии относится к сфалерит-галенит-пиритовому или сфалерит-галенит-пирит-халькопиритовому типу. Иногда минеральные ассоциации очень сложны. Цинковая обманка и пирит, минералы висмута, никеля, кобальта и, помимо сульфидов, другие соединения свинца и цинка ассоциированы с галенитом. На юге есть месторождения антимонита и барита с галенитом.

На севере и вблизи Порто галенит проявляется в виде акцессорного минерала в некоторых месторождениях золотоносного антимонита. В частности, это относится к некоторым золотоносным месторождениям Бейраса, в которых галенит ассоциирован с торбернитом и отенитом.

Некоторые месторождения Португалии

Географическое местоположение. Все главные португальские месторождения свинца и цинка, представляющие или представлявшие в прошлом экономический интерес, расположены в северной части страны, к северу от р. Тахо (Тэжу).

То же можно сказать и о цинковых месторождениях, поскольку сульфиды этих двух металлов находятся в ассоциации. Единственное исключение представляют месторождения каламина, находящиеся на юге Португалии.

Главные цинковые месторождения Португалии расположены в различных рудных районах: в Дуро (месторождение вблизи реки того же названия), рудном районе Каима — Вуга (окрестности д'Авейро), рудничном районе Вила Реал (Сьерра де Марайо и Вила Поука де Агиар), рудничном районе де Коимбра (в центре Португалии), рудничном районе Бейра-Баиша, в северо-восточной части Браганса, в южной части Тахо.

Здесь не перечисляются отдельные рудные проявления, так как они не представляют никакого интереса с точки зрения данного краткого экономически-промышленного очерка.

Рудный район Каима — Вуга; а) *Зона Брасаль — Мальяда.* Из рудных полей этой зоны извлечено было наибольшее количе-

ство свинца. В этой зоне расположены главные свинцовые рудники Португалии. Здесь залегают жильные месторождения, в которых преобладает галенит. В месторождениях Брасаль и Ковал да Мо и отчасти в месторождении Мальяда цинковая обманка присутствует в качестве акцессорного минерала. В месторождении Мальяда также присутствует в больших количествах пирит.

Галенит содержит немного серебра, максимальное количество которого достигает в верхних горизонтах 250 *г/т* в руде с 65% свинца. С глубиной обогащение серебром уменьшается.

Жильная порода представлена кварцем и реже карбонатами. Месторождения этой рудной зоны эксплоатировались уже в течение многих столетий, о чем свидетельствуют древние выработки и находки предметов, относящихся к римской эпохе. В течение приблизительно столетия они разрабатываются почти непрерывно. Согласно имеющимся данным, до 1875 г. здесь было добыто больше 28 000 *т* руды. Цифры добычи галенита с 1879 г. приведены в таблице 19. В данный момент разработка этой слишком обширной рудной зоны переживает трудный период, что связано с расширением и углублением выработок, и добыча здесь на несколько лет была приостановлена. Кроме того, эксплоатация затрудняется также обвалами и затоплением выработок.

б) *Рудная зона Каима.* В той же зоне находится много других жильных месторождений, отличающихся сложной ассоциацией минералов; сюда относятся рудники Карвальян, Рибейро да Пена, Пальял и Тельядела.

Жилы содержат галенит и халькопирит с преобладанием того или другого из этих минералов; жильная порода состоит из кварца, кальцита и доломита.

В концессиях, расположенных дальше к северу — Пальял и Тельядела, рудная формация относится к медному типу (cuivré — apathique); минерализация жил более сложная, с галенитом, халькопиритом и другими медными минералами в ассоциации с минералами кобальта, никеля, цинка и висмута. Эти рудники уже давно не эксплоатируются, бóльшая их часть — с конца прошлого столетия. В прошлом добыча в них велась в довольно большом масштабе.

На руднике Пальял во второй половине XIX в. было извлечено 25 000 *т* руды — Cu, Pb, Ni, Co и Ag.

в) *Зона Тальядас.* В районе Вуга — Каима находится еще одно важное месторождение — Тальядас, расположенное к югу от Вуга.

Это месторождение состоит из жил сложного сфалерит-галенит-пирит-халькопиритового типа, иногда с преобладанием галенита, а иногда халькопирита. Галенит содержит серебро, достигающее концентрации 1000 *г/т*, но уменьшающейся с глубиной.

Невозможно дать точные цифры продукции этого месторождения, так как здесь получаются сложные флотационные концентраты. Лучшие медные или свинцовые концентраты показывают содержание 22,38% меди и 79% свинца. Это месторождение, работы на котором начались в 1891 г., сейчас не эксплоатируется.

Рудный район Дуро. В районе Дуро расположено большое число месторождений; некоторые из них в прошлом играли важную роль. Чрезвычайно низкая цена на свинец, которая установилась в 1884 г., парализовала работы на многих португальских месторождениях, которые тогда только что начали эксплоатироваться; работы на этих месторождениях так и не возобновились, несмотря на то, что некоторые из них в настоящее время могли бы представлять экономический интерес.

а) *Зона «Кастелу де Пайва».* Эта зона охватывает группу рудников Гондарем, расположенных на левом берегу р. Дуро, в округе Кастелу де Пайва; из них нужно назвать рудники Террамонте, Рибейра да Ломба, Оурэ, Сьерра де Монтальту, Сьерраделу и Гуардунья. Рудные тела месторождений состоят главным образом из кварцевых жил. Минерализация распределена неравномерно и состоит из грубозернистого и тонкокристаллического галенита с подчиненным количеством цинковой обманки и значительным содержанием пирита. Некоторые жилы достигают большой мощности (7—8 *м*), но значительная их часть безрудна; руда встречается здесь только в зальбандах. Работы велись до 1888 г.; с 1883 по 1888 г. добыча составила 2000 *т* руды. Рудные столбы имеют ограниченные размеры.

б) *Зона Паредес — Гондомар.* Вблизи Дурской ж. д. и недалеко от города Порто (15—20 *км*) залегают и другие жильные месторождения, не представляющие, однако, экономического интереса с точки зрения добычи только галенита.

Галенит присутствует в качестве акцессорного минерала в золотых и антимонитовых жилах в пределах антимонитовой зоны нижнесилурийских пластов дурской толщи. Судя по найденным остаткам, римляне вели здесь добычу в широких размерах.

Характерные особенности жил этой зоны изучены недостаточно; добыча руды значительно сокращена, а между тем она могла бы представлять интерес, особенно в отношении золота и антимонита.

в) *Зона Табуасо — Сан Жоано да Пескейра.* Эта зона разделяется на два рудных участка: д'Адоригу в Табуасо и Варзеа де Тревойес в Сан Жоано да Пескейра. Некоторые из этих месторождений начинают приобретать актуальное значение; из них месторождение д'Адоригу, расположенное на левом берегу среднего течения р. Дуро, принадлежит к сфалерит-пирит-халькопи-

ритовому типу, но с большим преобладанием галенита, которое удерживается до последнего горизонта существующих выработок.

Месторождение было известно в течение минувшего столетия и после долгого бездействия вновь вступило несколько лет тому назад в эксплоатацию.

Добыча галенита сильно снизилась, так как богатых рудных тел значительного протяжения не встречено.

Месторождение Варзеа де Тревойес в Сан Жоано да Пескейра состоит из многочисленных жил сложных сульфидов. Цинковая обманка резко преобладает над галенитом и медными минералами. Цинковая обманка содержит серебро. Минеральная ассоциация состоит из цинковой обманки, галенита, халькозина, аргентита, арсенопирита, халькопирита, самородного серебра, малахита, азурита и других минералов меди и серебра.

Из этого месторождения были получены многие сотни тонн цинковой руды, но очень мало галенита (который содержал довольно много серебра).

г) *Зона Могадуру — Монкорну — Фрейжу де Эспада-а-Синта.* Недалеко от р. Дуро, в ее верхнем течении, на португальском берегу расположено несколько жильных месторождений свинцовых руд, не представляющих большого экономического интереса (Винья да Минд, Ситио до Каку, Фраду дос Рейс, Писсарайо и др.).

Эти жилы состоят главным образом из кварца с кристаллическими сланцами в зальбандах и содержат неравномерно распределенную галенитовую минерализацию. Цинковая обманка редка.

Рудный район Вила Реал. В этом районе и в Сьерра де Марайо некоторый интерес представляет рудничный участок Факука Кандо, расположенный в непосредственной близости от магнетитового месторождения Вила Кова до Марайо. Это месторождение состоит из нескольких жил, но разрабатывается из них только одна. Работы на этом месторождении начались между 1872 и 1882 гг.

В 1945 г. начато осушение подземных выработок, геологическое изучение месторождения и техническая его подготовка. В настоящее время начаты добычные работы.

Пределы распространения площади оруденения точно не определены. Это классическое сфалерит-галенит-пиритовое месторождение с преобладанием галенита на верхних горизонтах и цинковой обманки на нижних горизонтах, где наблюдается и общее обогащение руды.

Количество пирита, сопровождающего эти руды, всегда велико. Концентраты, обогащенные серебром, содержат его больше 2000 *г/т*.

В этом районе встречаются и другие месторождения свинца, но они не представляют промышленного интереса.

Галенит также входит в состав концентратов рудников Джалес в Вила Поука де Агиар к северу от г. Вила Реал, которые разрабатываются из-за большого количества содержащихся в галените золота и серебра.

Рудный район Бейра-Байша. В районе де Кастело Бранко имеются многочисленные рудные залежи свинца, свинца и цинка и свинецсодержащего барита. Одна из них находится в местности Сальватерра до Эштремо. Это — жильное месторождение с кварцевым выполнением и минерализованными сланцами, содержащими галенит и пирит; горные работы здесь были еще недостаточно развиты, чтобы говорить о будущих условиях эксплоатации и ценности месторождения.

В 8 *км* с лишним к югу от месторождения Сальватерра до Эштремо находится рудный район де Сегура, расположенный невдалеке от Эргеса на испано-португальской границе; он охватывает контактную зону гранитов с кристаллическими сланцами Бейрас; эта зона оруденения состоит из баритовых жил, залегающих вдоль линий тектонических нарушений, преобладающих в этом районе.

В зоне изменения вблизи поверхности галенит ассоциирован с церусситом. Цинковая обманка хотя и присутствует, но не в изобилии, так же как и халькопирит. Барит, очень чистый, окрашен солями железа.

Рудная площадь Сегура, представляющая промышленный интерес с точки зрения добычи свинца и цинка, оправдывает затраты на обогащение руд.

Во всех упомянутых рудных зонах развиты многочисленные прожилки и мелкие жилки, минерализованные касситеритом и вольфрамитом, что придает особую ценность этим зонам оруденения. В то время как падение баритовых жил приближается к вертикальному, жилы с вольфрамитом и касситеритом почти горизонтальны.

В других общинах района Кастелу Бранку, особенно в Пенамакор, встречены и другие месторождения.

Одни из них оказались бедными, с неравномерной минерализацией рудных тел, на других же за последние годы велась в небольших масштабах добыча цинковой обманки. Все месторождения Пенамакор сфалерит-галенит-пирит-халькопиритового типа; они еще недостаточно разведаны, хотя об их существовании известно уже с 1872 г.

Рудный район Коимбра. В административном районе Коимбра имеется несколько месторождений свинца, не интересных в промышленном отношении; работы на них прекращены.

Вблизи Коимбры и на левом берегу Мондего есть место-

рождение, называемое Барбадальос, эксплоатировавшееся в конце прошлого и в первые годы текущего столетия. По существующей документации, продукция месторождения с 1894 по 1907 г. выразилась в 3700 т галенита. С экономической стороны это месторождение можно отнести к числу первоклассных.

В том же районе Коимбра, в общине Оливьера до Ошпиталь, существуют другие рудные поля, которые как будто не имеют большой экономической ценности. Они сложены почти вертикальными кварцевыми жилами, минерализованными галенитом, цинковой обманкой, халькопиритом и пиритом, иногда с очень небольшими количествами золота. Здесь уже проведены поисковые работы.

Рудный район на северо-востоке от Брагансы. Вблизи испанской границы, на северо-восток от города Брагансы, находится месторождение Кинтанилья. Это крупное месторождение разрабатывается несколькими концессионерами; единого установленного мнения о нем нет. Отсутствие печатных работ, из которых можно было бы почерпнуть основные данные о месторождении, не дает возможности отнести его к какому-нибудь определенному классу.

Это месторождение жильного типа, но о минеральных ассоциациях, входящих в состав его руд, ничего неизвестно, кроме сведений о наличии в месторождении галенита и пирита.

На месторождении государством проводятся рекогносцировочные работы, которые должны позволить оценить его экономическое значение.

Рудный район к югу от Тахо (Тэжу). К югу от Тахо, в административных округах Порталегре (Арронш и Элваш) и Бежа (Мертола и Мура), известны многие месторождения, ни одно из которых не представляет, однако, промышленного интереса.

Эти месторождения представлены жилами: кварцевыми, кальцитовыми или баритовыми. Жилы минерализованы галенитом (иногда серебристым) в ассоциации со спекуляритом и минералами меди, а иногда и антимонитом.

Сюда не включены залежи каламина в ассоциации со смитсонитом, лимонитом или гематитом в общине Мура.

На всех месторождениях свинца эксплоатационные работы сейчас приостановлены и ведутся технико-промышленные исследования. Кроме указанных, имеются еще и другие месторождения, о которых здесь ничего не говорится в связи с их малой значимостью.

А. ФЕРРЕЙРА [1]

(посмертная статья)

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛАМИНА И СМИТСОНИТА В ЮЖНОЙ ПОРТУГАЛИИ

Краткое содержание

Проявления каламина встречены в районе Бежа, в 21 *км* на юго-восток от Мура. В районе месторождения обнажаются кристаллические сланцы, кварциты и известняки, простирающиеся в северо-западном направлении; они секутся тоналитами, габбро, диорит-порфиритами и кварцевыми жилами и частично перекрываются миоценовыми формациями.

Каламин вместе со смитсонитом, лимонитом, гематитом и глинистыми минералами, а иногда кремнеземом заполняет брекчированные зоны и трещины в известняке.

Супергенный процесс превратил сульфидные, преимущественно сфалеритовые руды в окислы железа и смитсонит с последующим образованием каламина. Вполне возможно, что в образовании этого минерала также принимали участие гидротермальные растворы.

Эти рудные месторождения разрабатывались римлянами, а в недалеком прошлом (1919—1925 гг.) каламин являлся предметом экспорта. В настоящее время проводится интенсивное изучение месторождений с технической и экономической точек зрения.

Месторождения Прегиса № 1, Прегиса № 2 и Жердаде де Вила Руива расположены на юге Португалии, в районе Собраль да Адиса, принадлежащем к округу де Бежа.

В рудниках Прегиса № 2 и Жердаде де Вила Руива сохранились следы римских разработок. В первом из этих рудников обнаружены остатки выработок, очень характерных для римлян, а также лампы римской эпохи.

Рудники долгое время были заброшены (вероятно, с римских времен), и добыча руд цинка и железа на них возобновилась только в 1919—1925 гг.

Древние выработки были расчищены после 1945 г., и в настоящее время месторождение находится в начальной стадии изучения.

Рельеф местности характерен для Алемтежу, т. е. представляет собой слегка волнистую равнину.

Район слагается комплексом досилурийских формаций — метаморфических сланцев, кристаллических известняков и кварцитов, пронизанных местами тоналитами, диоритами, габбро и порфирами, перекрытых толщей миоценовых пород.

На площади месторождений не было встречено проявлений эруптивных пород, но обнаружено присутствие жил кварца,

[1] A. B. Ferreira, бывший директор отдела горных изысканий Главного управления горного дела и Геологической службы Португалии.

вероятно, гидротермального происхождения, что заставляет предполагать наличие эруптивных пород поблизости.

Кристаллические сланцы светлокоричневого и зеленовато-серого цвета, иногда кварцитизированные, содержащие пластинчатые прослои окислов железа. Кварциты белые, в большей или меньшей степени железистые, иногда плотные, светлосерого цвета. Известняки кристаллические, светлосерого или темносерого цвета.

Пласты известняка, перекрывающие цинковую рудную формацию, содержат железо и довольно много кремния, а также секутся жилками кварца, что, повидимому, указывает на гидротермальную силификацию.

Известняки содержат многочисленные трещинные зоны, а также гроты, образованные растворением, по времени более поздним, чем первичное рудообразование.

Рудник разрабатывался только выше водного горизонта, и цинковая руда найдена в виде неправильных залежей, заполняющих главным образом трещины в известняке, брекчированные участки, а иногда пустоты растворения. Местами руда сопровождается джаспероидом и располагается по системе трещин в известняке или по плоскостям напластования.

Цинковые минералы, образующие разрабатываемую в данное время руду, представлены каламином и смитсонитом, имеющими вид белой более или менее плотной глинистой массы.

Каламин и смитсонит часто ассоциированы с лимонитом. В этом случае руда изменяет цвет от желтого до красного; в трещинных зонах в известняке преобладает руда землистого типа и желтого цвета.

Белая глинистая руда преимущественно сопровождает руду яшмового облика, а иногда бывает заключена в ней.

Парциальные химические анализы показали следующие результаты.

Таблица 20

ХИМИЧЕСКИЕ АНАЛИЗЫ ЦИНКОВЫХ РУД

Элемент	№ анализа						
	1	2	3	4	5	6	7
Zn	9,02	3,53	38,42	18,33	4,61	2,55	5,19
SiO_2	43,29	19,97	7,25	18,92	24,53	33,91	43,35
Fe_2O_3	27,08	46,72	10,40	23,88	43,12	2,48	30,24
Al_2O_3	5,00	7,23	2,10	8,76	6,87	1,91	6,48
CaO	0,22	0,32	0,51	0,28	Следы	7,98	Следы
CO_2	5,44	2,19	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .
H_2O	7,52	13,59	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .

Происхождение этих цинковых руд объясняется по-разному. Проведенные исследования показывают, что в зонах пород, наиболее устойчивых против действия атмосферных вод, в известняках присутствуют неравномерно распределенные кристаллы пирита и цинковой обманки, иногда сопровождаемые перекристаллизованным кальцитом.

Повидимому, к периоду этой гидротермальной минерализации относится первичная минерализация месторождения, и смитсонит образовался, вероятно, в результате действия карбонатных вод на сернистый цинк, а каламин — в результате последующей силификации.

ИТАЛИЯ

В. НОВАРЕСЕ [1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В САРДИНИИ [2]

Краткое содержание

В Сардинии имеются два основных типа свинцово-цинковых месторождений, руды из которых разрабатываются с древнейших времен: а) месторождения в рудоносных известняках, промежуточном комплексе, приуроченном к кембрийской толще и включающем также песчаники и сланцы, б) жилы в породах других типов, в частности в сланцах и гранитах.

а. Месторождения в известняках включают: 1) массивы замещения, содержащие бедный серебром галенит и небольшое количество киновари, 2) неправильной формы тела каламиновой руды и сереброносного церуссита, 3) жилы сфалерита и галенит с высоким содержанием серебра. К этому типу относятся месторождения Монтепони близ Иглезиас.

б. Среди жил второго типа выделяется жила в сланцах протяженностью 6 *км*, разрабатываемая в Монтевеккио, и жилы рудников Геннамаре и Ингуртоза, приуроченных к гранитам.

Месторождения в рудоносных известняках рассматриваются как почти одновозрастные с диабазовыми дайками, внедрившимися в эпоху герцинской орогении. Встречаются также герцинские граниты.

Месторождения свинца и цинка в Сардинии приурочены к палеозойским отложениям, более древним, чем нижняя пермь (Аутунианские слои). По своему общему характеру они могут быть подразделены на следующие две группы: А. Месторождения в кембрийских известняках; последние носят название рудоносных (metallifero). Б. Месторождения, связанные с жилами, секущими различные породы, как осадочные, так и эруптивные (сланцы, известняки, граниты и т. д.).

Группа А. Месторождения в рудоносных известняках

Комплекс рудоносных известняков является промежуточной серией в толще кембрия, подразделяемого на три горизонта: песчаники с *Olenopsis*; рудоносная свита, состоящая из известняков и доломитов; сланцы с *Paradoxides Mediterraneus Pompecky*.

Рудные скопления приурочены исключительно к «рудоносным известнякам». Обычно сопровождаются бедной жильной породой, глинистой или охристой, и имеют различный характер в зависимости от главного рудного минерала, в них содержащегося.

---

[1] V. Novarese, бывший почетный директор Геологической службы, Рим.

[2] Перевод с итальянского проверен Я. М. Светом (*Прим. ред.*).

а) Первая группа охватывает исключительно свинцовые месторождения с галенитом, бедным серебром; содержание серебра колеблется от 100 до 400 (максимум) граммов на тонну руды. Иногда содержит небольшое количество киновари в виде налетов и примазок в жеодах галенита. Рудные скопления галенита всегда встречаются в рудоносных известняках близ контакта со сланцами с *Paradoxides Mediterraneus* в двух различных формах — или в виде пропластков и крупных линз, параллельных контакту (Сан Джованни, Малакальзетта, Небида, Масуа и др.), или в виде более или менее протяженных жил, в общем друг другу параллельных и расположенных в соответствии с весьма правильными направлениями трещин кливажа, маскирующими стратификацию, но всегда параллельными контакту известняков со сланцами (Монтепони, Рейграксиус).

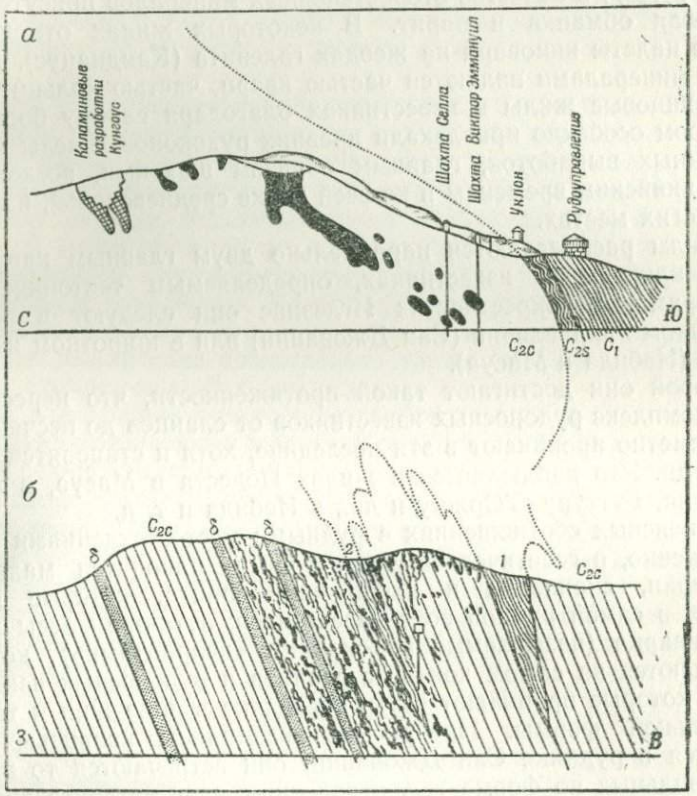
б) Вторая группа представлена цинковыми рудными телами с каламином, смитсонитом и гидроцинкитом, более или менее железистым. С этими минералами ассоциируется иногда цинковая обманка (Седас-Модиззис) и небольшое количество киновари (Сан Джованни).

Цинковые рудные тела имеют более правильную форму, чем свинцовые, и почти всегда встречаются в виде линз или столбов крупного размера, параллельных направлению истинной стратификации. Ранее уже упомянутые цинковые минералы всегда имеют характер конкреций; нередко встречаются сталактиты вторичных минералов (богатый каламин фисташково-зеленого цвета в Масуа). Вторичные минералы возникли при окислении первичного минерала (цинковой обманки) и переотложении силикатно-карбонатного материала как в сталактитах, так и в других участках известняка, и в особенности в пустотах.

в) Третья группа рудных тел представлена окисленными цинковыми рудами и сереброносным карбонатом свинца (церусситом); хорошие примеры этого типа имеются в горной выработке Сан Марко в Монтепони и в других рудниках. Следует отметить, что все сардинские каламиновые руды являются свинцовоносными и содержание Pb доходит в них до 4%.

г) Четвертая группа не имеет промышленного значения и не разрабатывается, так как представлена ожелезненными рудными телами (с лимонитом и железным блеском) небольшой протяженности и малой мощности, иногда просто одиночными желваками. Но если с промышленной точки зрения этот тип и не представляет никакого интереса, то для познания генезиса месторождений тип вторичных каламиновых руд интересен; он доказывает, что рудные месторождения среди известняков первоначально состояли из галенита, цинковой обманки и пирита. Последующие процессы привели к почти полной трансформации сульфидов

в окисленные минералы с сохранением в некоторых случаях сульфидов свинца (или церуссита в месторождениях третьей группы). Бесспорно, что часть каламиновых месторождений обя-



Фиг. 63. Разрезы через месторождение Монтепони: (*а*) в направлении рудной залежи и вдоль псевдослоистости и (*б*) перпендикулярно псевдослоистости.

C_{2c} — известняки и доломитизированные известняки кембрия (металлоносные известняки Цоппи); C_{2s} — обыкновенные и доломитизированные сланцеватые известняки кембрия (известковые сланцы); C_1 — сланцы с *Paradoxides*, благодаря опрокинутому залеганию находящиеся выше известняков; δ — измененные диабазы в форме интрузивных жил, согласных с псевдослоистостью; *1* — сланцы Цистернон; *2* — сланцы Монсиньор.

Черным закрашены контуры галенитовой руды; перекрещивающейся штриховкой показана каламиновая руда.

зана своим происхождением растворам, циркулировавшим в известняках. В некоторых рудниках и в настоящее время наблюдается образование маленьких конкреций каламина, описанных Парнисари и Линчо.

Жилы. Наряду с рудными скоплениями имеется другой тип месторождений, представленный металлоносными жилами с галенитом, богатым серебром (в среднем от 1 до 3 *кг* серебра на тонну руды); в качестве второстепенных минералов присутствуют цинковая обманка и пирит. В некоторых жилах отмечаются также налеты киновари на жеодах галенита (Кандиацус). Жильными минералами являются частью кварц, частью кальцит.

Свинцовые жилы в известняках благодаря своему богатству серебром особенно привлекали древних рудокопов. Следы многочисленных выработок, главным образом шахтных, восходящих к финикийским временам и ко всей эпохе средневековья, имеются во многих местах.

Жилы располагаются параллельно двум главным направлениям кливажа в известняках, определяемым тектоническими факторами. В окрестностях Иглезиас они следуют в северо-восточном направлении (Сан Джованни) или в широтном направлении (Небида и Масуа).

Порой они достигают такой протяженности, что пересекают весь комплекс рудоносных известняков от сланцев до песчаников; они заметно проникают в эти последние, хотя и становятся более бедными. Это наблюдается в жилах Подеста в Масуа, в жилах Фортуна, Гуттуру С'Оржиу и др., в Небида и т. д.

В неясных соотношениях с рудными месторождениями (хотя, несомненно, в генетической связи с ними) находятся маленькие прожилки, скопления и вкрапления барита, которые встречаются в самой рудной зоне известняков, а также массы жильного кварца (называемые рудокопами «кварцитами»), которые встречаются на самом контакте сланцев и рудоносных известняков и которые проникают в эти последние в виде жил и тел неправильной формы. Прекрасные экземпляры кварцевых жил имеются в руднике Сан Джованни; они встречаются то в виде неправильных по форме тел, отделенных друг от друга эрозией, то в слитных массах.

Разрез Монтепони. Типичным для описанной группы является рудник Монтепони близ Иглезиас. В рудоносных известняках этого рудника герцинские движения содействовали образованию исключительно выдержанных трещин катаклаза, параллельных друг другу и межслойным плоскостям.

Группа Б. Жилы, секущие породы различного происхождения

Наиболее значительным рудником, где эти жилы наблюдаются во всей их чистоте, является рудник Монтевеккио, в общинах **Арбуз** и Гуспини (округ Иглезиас). Здесь имеется мощная жила

в силурийских сланцах с простиранием северо-восток — юго-запад, падающая на северо-восток под углом 60—70°. Рудный комплекс ее представлен сульфидами и карбонатами свинца и сульфидами цинка. Годовая добыча этого рудника в нормальное время составляет 9500 *т* серебросного галенита и 700 *т* цинковой обманки. В среднем на руднике бывает занято до 1000 рабочих.

Жила разрабатывается на протяжении около 6 *км*. На этой дистанции, по направлению к юго-западу, она переходит из сланцев в граниты и в этих последних эксплоатируется на рудниках Дженнамаре и Ингуртоза, где добывается 4000 *т* галенита и 650 *т* цинковой обманки. В Дженнамаре и Ингуртоза числится 650 рабочих. В 10 *км* от Иглезиас, в Флюминезе, располагается рудник Малкакалсетта, где разрабатывается жила широтного простирания, секущая известняки. Жила содержит серебросный галенит, заключенный частью в кварце, частью в кальците и сидерите. Жильное выполнение представлено также (в небольших количествах) глинистыми образованиями.

Так как вмещающие породы карбонатны, то в жиле имеются и скопления окисленных цинковых руд типа А. Годовая добыча — 1000 *т* свинцовой руды и 400 *т* цинковой.

В числе рудников группы Б заслуживает внимания Арджентьерра делла Нурра на северо-западном берегу Сардинии (провинция Сассари), где жила в силурийских сланцах содержит преимущественно цинковую обманку и рассеянные скопления галенита, богатого серебром. Добыча здесь составляет 6700 *т* в год цинковой обманки и 670 *т* галенита. На руднике занято 200 рабочих.

Парагенезис

В Сардинии, в палеозойских отложениях древнее перми, явственно отмечаются следы двух различных фаз диастрофизма: первой — каледонской и второй — варисской. Трещины разломов сопровождаются мощными проявлениями изверженных пород (граниты, порфиры, порфириты и диабазы), и свинцово-цинковые месторождения представляются как финальный акт последней фазы эндогенной деятельности.

Минерализация кембрийских известняков была связана либо с излиянием диабазов, либо имела место сразу же по окончании эруптивного цикла. Рудные скопления и тела галенита встречаются в тех же трещинах, к которым отчетливо приурочены диабазовые жилы.

Карбонатный состав вмещающих пород должен был благоприятствовать отложению руд цинка и свинца. Именно с карбонатными породами связаны месторождения замещения, не приуроченные, подобно жилам, к пустотам. В этих месторождениях

рудные минералы сопровождаются кварцем, баритом, сидеритом и т. д.

Как указывалось выше, при описании рудных скоплений в рудоносных известняках, окисленные минералы цинка (каламин) в таких месторождениях вторичны и обязаны своим происхождением замещению растворами, обогащенными цинком при воздействии вод, циркулирующих в известняках на цинковую обманку.

Разработка сардинских месторождений, ценность которых определялась серебросодержащим свинцом, знала периоды расцвета как в финикийско-карфагенскую и римскую эпохи, так и на протяжении средних веков, когда на острове господствовали пизанцы. Затем, однако, различные иноземные вторжения и войны обусловили длительный период упадка, продолжавшийся почти пять веков, до середины XIX в.

Новый этап в истории сардинских рудников начался с 1860 г., когда Кавур передал частной компании разработку месторождений Монтепони, до тех пор состоявших в ведении казны. Этим было положено начало новой современной фазе расцвета; разработки развивались гораздо быстрее, чем в минувшие времена, причем более полно использовались сфалеритовые руды. В 1865 г. были открыты, а с 1867 г. стали использоваться каламиновые руды, которыми до тех пор пренебрегали.

Развитие горного дела было облегчено законами о сардинско-ломбардской горной промышленности (1859 г.), которыми разрешена была свобода поисков металлоносных руд. В силу этого заметно возросло число заявок на свинцовые и цинковые месторождения, отводившиеся как иностранцам, так и итальянцам. Число их в 1913 г. достигло 80.

В результате этого была отчетливо установлена значительная протяженность рудного поля Иглезиенте, и тем самым выявилось наличие значительных запасов руд, разработка которых на долгие годы была обеспечена в рудниках, заложенных на площадях, резервированных за государством.

Убежденность в наличии значительных запасов была столь велика, что в годы войны усиленно продолжались новые исследования (не только путем бурения, но и при помощи геофизических методов) для установления глубины рудных зон, не выходящих на поверхность.

С увеличением числа действующих рудников, естественно, возросла добыча свинцово-цинковых руд, причем она почти достигла 200 000 *т* в год. При столь высоком уровне добычи из Сардинии экспортировалась значительная часть руд цинка (цинковая обманка и окисленные цинковые руды). Руда вывозилась из района Иглезиенте через порты Кальяри и Порто Весме и из Нурры через Порто Торрес.

Перед первой мировой войной Сардиния располагала группой предприятий с новейшим оборудованием, которые добывали значительные количества цинковой руды и экспортировали ее в те европейские страны (Бельгия, Англия, Германия), где на базе значительных угольных богатств развились термометаллургические методы выплавки цинка.

В начале первой мировой войны затруднения, связанные с морскими перевозками, вызвали весьма тяжелый кризис в горной промышленности. Кризис этот заставил лиц, ведающих разработками, приступить к поискам методов, с помощью которых можно было бы исправить положение.

Такие методы были открыты, и по окончании первой мировой войны горнорудное дело вновь стало развиваться, и к 1938 г. было достигнуто состояние прежней активной деятельности и твердо были обеспечены перспективы будущих работ, так как был найден способ использования на месте цинковых концентратов, ранее экспортировавшихся.

Следующие обстоятельства содействовали перелому к лучшему. В конце XIX в. процветание горнорудной сардинской промышленности было обеспечено постройкой новых шахт для добычи угля в небольшом бассейне в окрестностях Гоннеса нелл'Иглезиенте, расположенного в непосредственной близости от рудников Бакуабис, Капут Аквуас, Терра де Коллу и Кульмине. Добыча угля в течение многих лет поддерживается на уровне 60—70 тыс. *т* в год. То обстоятельство, что на месте имеется топливо для выработки энергии, значительно содействовало развитию металлургической промышленности, базирующейся на термоэлектростанции в Порто Весме.

Разразившаяся война заставила компанию Societá Mineraria de Monteponi приступить к разработке методов использования электроэнергии, получаемой на базе лучших смолистых эоценовых углей (калорийностью 6000—7000 *кал*), которыми располагает эта компания, для электролитической обработки железистой окисленной цинковой руды рудника Кампо Пизано и получения металлического цинка. Точно так же были начаты работы по получению из той же руды цинковых белил. Необходимо отметить, что предпринятые попытки увенчались успехом, и не только был преодолен кризис, но и созданы условия для дальнейшего развития промышленности по добыче сардинских свинцово-цинковых руд.

Угли бассейна Сульчис. Трудности с получением угля в послевоенный период побудили начать в Сардинии исследования, целью которых являлось установление истинных границ эоценового бассейна, о котором ранее уже шла речь и который давно уже разрабатывался близ Иглезиенте.

Было установлено, что угленосные отложения протягиваются к югу, в район Сульчис, и имеют значительную мощность. В условиях острой потребности в угле, которую переживает Италия, бассейн Сульчис стал объектом разработки, и в его пределах построены были шахты в районе Карбонии. Добыча эоценовых углей достигла здесь в 1934 г. 900 000 *т*. Таким образом, близ района разработок свинцово-цинковых руд возникла новая топливная база, столь значительная, что использование ее позволяет перерабатывать в Сардинии всю добытую цинковую руду как металлургическим, так и электролитическим путем.

По имеющимся данным, в 1939 г. из железистых каламиновых руд Кампо Пизано с 20-процентным содержанием цинка — руды, ранее не пригодной к экспорту и не имевшей коммерческой ценности, — было получено путем электролиза 5718 *т* металлического цинка и 3121 *т* цинковых белил.

Из хвостов электролитической переработки было получено 210 *т* кадмиевого шлака, из которого извлечено 13 417 *кг* кадмия.

Добыча

В 1939 г. (последний год, для которого имеются официальные статистические данные о добыче свинцово-цинковых руд в Сардинии) добыча по 43 рудникам составила (в тоннах):

Галенит с 60,70% Pb и 399 *г/т* Ag	67 530
„ с 67,70% Pb и 1000 *г/т* Ag	1 122
Цинковая обманка с 57% Zn	93 868
Окисленные известково-цинковые руды с 46% Zn	25 635
Бедные окисленные цинковые железистые руды с содержанием 20% Zn	55 548

Бедные железистые окисленные цинковые руды поступали из рудника Кампо Пизано и использовались для электролитической обработки с целью получения цинка и отчасти для производства цинковых белил.

С. ВАРДАБАССО[1]

ГЕОЛОГИЯ ГЕРЦИНСКИХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САРДИНИИ[2]

Краткое содержание

1. В палеозое Сардинии имеется одна небольшая по размерам металлогеническая провинция, которая, однако, в сравнении с современными ей иными европейскими месторождениями (Испания, Германия, Чехословакия) представляет известный интерес.

Эта провинция существенно характеризуется гидротермальными месторождениями Pb, Zn, Ag (запасы которых невелики в Италии), а также весьма мелкими проявлениями As, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Sb, Sn. Только немногие из этих элементов (Mo, W) связаны с пегматитовой стадией или с контактово-метаморфическим типом (Fe).

2. Оруденение связано с позднеорогеническими гранитными интрузиями верхнекарбонового возраста. Более древними являются небольшие, слабометаллоносные синорогенические магматические фазы, подобные гнейсовым ядрам («порфироидам»), приуроченные к антиклиналям, сложенным силурийскими сланцами и не затронутым, как правило, позднейшими интрузиями Окончание герцинского магматического цикла выражено небольшими и неметаллоносными экструзиями порфиров (нижняя пермь).

3. Эта щелочно-земельная магма слабо дифференцирована. Основные ее фации (от диоритов до габбро) мало развиты в гранитных массивах. В Сардинии с ними связаны лишь спорадические и незначительные скопления сульфидов меди. Крупные свинцово-цинковые месторождения в палеозойских отложениях секут древние дайки основных пород. Эти месторождения связаны не с основной, а с кислой глубинной магмой.

4. Локализация и значение месторождений стоят в связи с тектоническими условиями различных районов острова.

а) В центральной антиклинальной зоне кембрийских песчаников Иглезиенте имеются немногочисленные дайки кварцевых порфиров, возможно, являющихся апофизами батолитового купола. Вокруг них в рудоносном ореоле среди кембрийских известняков и доломитов развито много месторождений. Крупные и частые метасоматические свинцово-цинковые замещения (сульфиды, но особенно карбонаты) с широкими доломитовыми ореолами и кальцитовыми жилами были обнаружены здесь в районе Монтепони, Небидо, Биджеру и в сильно нарушенных кембрийских известняках. Они особенно часто локализуются ниже непроницаемых (плотных) сланцев. Окисленные цинковые руды (в большей степени карбонатные, чем силикатные) не заходят далеко в пределы глубинной зоны сульфидных минералов. Кварцевые жилы с галенитом здесь редки.

б) В Южной Сардинии проявлены зоны кислых и основных даек с двумя системами свинцово-цинковых жил; жилы эти характеризуются кварцевым выполнением (подчиненными минералами являются барит, карбонаты и флюорит) и развиты на небольших площадях распространения ордовичских (также готландских) сланцев вокруг куполов (гранитные «эллипсоиды», Арбурезе, Саррабус и т. д.). Периферические системы богаче сфалеритом и галенитом с Ag (Монтевеккио). Поперечные секущие системы моложе и

[1] S. Vardabasso, профессор геологии университета в Кальяри (Италия).
[2] Перевод с итальянского проверен Я. М. Светом (*Прим. ред.*).

бедны свинцом. В месторождениях, особенно в периферических жилах, проявляется ритмическое изменение состава. Оруденение вокруг куполов идет из глубины, но, видимо, интенсивность его обратно пропорциональна объему самих куполов.

в) Большие обнажения эродированных гранитов известны в Северной Сардинии (Галлура и т. д.).

г) В Восточной Сардинии небольшие линзообразные тела смешанных сульфидов (Fe, Cu, Zn, Pb) концентрируются согласно в готландских синклиналях (графитовые сланцы, иногда известняки, имеющие второстепенное значение) вдалеке от батолитовых куполов. Силикатные ореолы здесь нередки. Несколько жилок с бедными сульфидами и арсенидами Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Ni, Sb и т. д., располагающиеся согласно с плоскостями стратификации, изучаются в готландской синклинали Иглезиенте (М. Флюмини), на небольшом расстоянии от гранитов.

С другой стороны, наиболее значительные месторождения антимонита, особенно в готландских отложениях в Джерреи, располагаются на большом расстоянии от обнажений гранитов и вблизи выходов порфироидов или порфиров.

д) В постготландских песчаниках и сланцах Северной Сардинии (Нурра) и в других местах известны свинцово-цинковые жилы; они, однако, еще не достаточно изучены. Эта формация местами интенсивно окремнена.

е) Широко развитые и несогласные отложения нижней перми проникнуты и перекрыты неметаллоносными порфирами. Они порой содержат антрацит.

Свинцово-цинковые месторождения располагаются на острове вдоль осевых направлений герцинских складок; в Северной Сардинии — с северо-востока на юго-запад; в Восточной Сардинии — с северо-запада на юго-восток (здесь имеется второстепенное меридиональное направление, сопровождающееся более поздними пустыми баритовыми жилами большой, до 15 *км*, длины); в Южной Сардинии жилы протягиваются с востока на запад.

Каледонские складки пересекаются герцинскими северо-западного простирания. В том же направлении протягиваются длинные, около 5 *км* протяжением, кварц-порфировые и кварцевые дайки. Разломы альпийского цикла и связанные с ними лавы, отражаясь в современном рельефе Сардинии (грабен Кампидано, депрессия Нурра и Тирсо, долина Чиксерри и т. д.), следуют тем же четырем древним направлениям складчатости. Однако юный вулканизм нигде не вызвал новых проявлений рудоносности и не повлиял на состав герцинских месторождений.

С доисторических времен до настоящего времени бо́льшая часть добываемых в Италии свинца, цинка и серебра приходится на остров Сардинию.

Месторождения этих металлов составляют преобладающую и экономически наиболее важную часть металлогенической провинции герцинского магматического цикла.

Гранитные плутоны, с которыми связаны эти месторождения, занимают весьма обширное пространство в пределах современных островов Сардинии и Корсики. Они являются лишь фрагментами более крупного массива, консолидировавшегося в центре западного Средиземноморья в конце палеозоя. Массив этот был затем пенепленизирован, частично погрузился (в период мезозойских движений) и, наконец, снова был дислоцирован на протяжении альпийского орогенического цикла.

В Сардинии магматические проявления, связанные с герцинским орогенезом, достигли апогея при консолидации гранитного

плутона, подвергшегося складчатости в верхнем карбоне (в нем почти совершенно отсутствуют краевые гнейсовые фации).

Однако следует отметить, что как в юго-восточной Сардинии, так и в других местах известна мощная серия ортогнейсов эпизоны («порфироиды»).

Эти гнейсовые пачки, большей частью внедренные с относительным согласием в смятые силурийские сланцы, представляют эруптивную фазу, предшествующую гранитной.

За последней, в соответствии с тем, как это бывает и в иных герцинских массивах Европы, следует фаза порфировых излияний нижней перми [1].

Эти три фазы эндогенной деятельности герцинского цикла (порфироиды — граниты — порфиры) относятся к одному магматическому типу с щелочно-земельными, слабо дифференцированными магмами, на что указывает то обстоятельство, что основные фации полностью подчинены главной гранитной массе. С металлогенической точки зрения основные фации представляют малый интерес.

Действительно, лишь в некоторых пунктах (Ольястра, Галлура и т. д.) с крохотными ядрами диорита и габбро связаны сколько-нибудь значительные концентрации сульфидов меди и железа. Точно так же подобные рудопроявления в порфиритовых и лампрофировых жилах имеют практически небольшое значение.

С другой стороны, отсутствуют генетические связи между свинцово-цинковыми месторождениями, встречающимися в кембрийских отложениях Иглезиенте, и диабазовыми жилами, секущими эти породы. Можно говорить лишь о случайных совпадениях, вызванных регионально-тектоническими факторами; в последнем случае разломы могли способствовать первоначальному внедрению жильных тел, а затем и образованию более значительных рудных месторождений. Месторождения сардинской металлогенической провинции возникали, таким образом, при дестилляции (distillazione) кислой магмы. Это привело к формированию целой гаммы рудообразований, от бедных перимагматических концентраций молибдена, олова и вольфрама до скромных апомагматических скоплений сурьмы с едва различимыми следами ртути.

В эту серию включаются значительные концентрации серебросного свинца и цинка, местами сопровождаемые (в качестве второстепенных компонентов) медью, мышьяком и различными полисульфидами, главным образом кобальта, никеля и т. д. В некоторых местах имеются многочисленные мелкие перимагматические проявления кислородных соединений железа.

[1] На схематической карте (фиг. 65) впервые воспроизведены, помимо гранитов, главные выходы порфироидов и порфиров (согласно неизданному отчету автора).

Наиболее значительные свинцово-цинковые месторождения типично гидротермальные; однако отдельные месторождения могли быть образованы соответственно в контактных ореолах или просто внутри гранитных массивов по трещинам. В этом отношении характерны некоторые месторождения района Наркао, Арбуз, Флюмини, Саррабус и др.

Их неравномерное распределение как по степени концентрации, так и в смысле состава руд и жильного выполнения проявляется, как уже отмечалось, в зависимости от местных стратиграфических и тектонических условий, и особенности эти варьируют от места к месту.

С этой точки зрения особенно интересны соотношения между геологической структурой и оруденением в юго-западной Сардинии.

Геологическая схема района Иглезиенте и прилагаемый профиль (фиг. 65) являются попыткой синтетического выражения этих соотношений, хотя, по правде говоря, интерпретация эта может считаться дискуссионной, поскольку полувековые исследования различных авторов (Цоппи, Борнеманн, Помпеки, Новаресе, Тарикко, Авр, Минуччи, Шварцбах, Монтильди и др.) не привели к установлению единых взглядов.

Следует отметить, что в кембрийской формации Иглезиенте преобладают окисленные свинцово-цинковые месторождения метасоматического происхождения, но в них известны также и сульфиды, особенно (что, впрочем, вполне естественно) галенит.

Месторождения подчинены крупным известняково-доломитовым массивам, весьма сильно дислоцированным и разбитым трещинами, причем дислокации эти относятся к двум орогеническим циклам — каледонскому и герцинскому.

Разнообразие форм месторождений находится в связи с различными вариантами структур, и на этом мы остановимся ниже. Но необходимо отметить, что значительные концентрации руд наблюдаются вдоль линии пересечения различных систем на плоскости (типично в этом смысле месторождение рудных столбов — colonnare в Монтепони), в зонах разломов, в карстовых пустотах и особенно часто близ контактов водопроницаемых известняково-доломитовых толщ и не проводящих воду серий глинистых сланцев и песчаников.

Так называемые «кварциты» или пластовые жилы кварца, которые в сопровождении барита часто встречаются в кровле рудных тел, большей частью являются продуктами силификации известняков.

Эти кремнистые отложения особенно часто встречаются в сланцах наиболее юной серии известняково-доломитового комплекса.

Доломитовые ореолы (вторичный доломит, желтый, в конкрециях) окружают, как правило, метасоматические свинцово-цинковые месторождения, которые секутся жилами известнякового шпата гигантского размера (Буджеру, Сан Джованни, Монтепони и др.) [1].

Несомненно, это латеральные выделения, которые позволяют дать примерное представление о соотношении с основной массой и не подтверждают гипотез, согласно которым образование вторичного доломита приписывается магнию, извлеченному из диабазовых, преимущественно аргиллифицированных жил, которые, как на то указывается, пересекают кембрийские отложения.

Следует отметить, наконец, то обстоятельство, что не везде под каламиновыми месторождениями, особенно воронкообразными, имеются месторождения первичных сульфидов. Могли быть случаи, когда эти компоненты, связанные с восходящими водными растворами, задерживались у водонепроницаемой сланцевой кровли и затем рассеивались в бессвязной массе известняков и доломитов.

В районе кембрийских отложений Иглезиенте соотношения между гранитным плутоном и месторождениями проявляются не столь отчетливо, как в области развития силурийских пород (Монте-Линас — Арбуз) и в других частях Сардинии.

Значительный интерес представляет также небольшой гранитный купол Оридда к северу от Домусновас, окруженный многочисленными месторождениями, которые располагаются как внутри, так и вне ореола контакта. Исследование этого купола ведется в настоящее время.

Присутствие на глубине гранитов не может вызывать сомнения; оно доказывается приуроченностью порфиритовых жил и даек к ядрам смятых и нарушенных антиклиналей, сложенных песчанистыми отложениями.

Известняково-доломитовая зона вокруг одного из таких ядер между Иглезиас и Флюмини Маджоре («рудное кольцо») особенно изобилует свинцово-цинковыми метасоматическими месторождениями, которые естественно поставить в связь с растворами, восходящими от гранитного купола, расположенного под этой антиклиналью.

В области силурийских отложений свинцово-цинковые месторождения большей частью заполняют разломы, секущие водо-

[1] Широкое распространение доломитовых фаций в кембрии отчетливо демонстрируется прекрасной «Горнорудной картой Иглезиенте», составленной Новаресе, Тарикко и др. Было бы, однако, желательно на готовящемся новом издании этой карты особо выделить первичные (кембрийские) и вторичные (герцинские) доломиты; это позволит яснее обозначить ореол метасоматических месторождений.

непроницаемые сланцы на периферии небольших гранитных куполов. Помимо таких периферических жил, имеющих кварцевое выполнение и более богатых галенитом и цинковой обманкой (жилы Монтевеккио — Ингуртоза), имеется и другая система менее рудоносных поперечных жил («секущие» жилы, неправильно именуемые также радиальными).

Поле рудных жил, которое лишь частично может быть сопоставлено с более известными полями Арбурезе и Саррабус, имеется близ Нурры.

Здесь жилы располагаются в виде сетки, в строении которой принимают участие два типа — преимущественно свинцово-цинковый и более бедный, главным образом сурьмянистый. Выполнение в обоих типах жил — кварцевое.

В пределах рудной зоны Лула—Торпе (юго-восточная окраина гранитного плато Северной Сардинии) отмечаются жилы сульфидов свинца и цинка с кварцевым выполнением. Они располагаются в соответствии с различными направлениями разломов, секущих силурийские сланцы. Последние местами сильно метаморфизованы (слюдистые гранатоносные сланцы, переходящие в гранитные ортогнейсы).

В важном рудном поле Монтевеккио — Ингуртоза, разработанном на большую глубину, отмечается, что сульфидные месторождения в трещинах по мере углубления становятся все более неоднородными (брекчии, конкреционные структуры); в связи с этим неясно проявляются общие закономерности в распределении рудных компонентов как по вертикали, так и в боковом направлении.

Особо следует отметить, что значительному скоплению галенита на востоке, т. е. в секторе Монтевеккио, не соответствует высокая концентрация цинковой обманки на западе, в секторе Ингуртоза. Хотя содержание серебра с глубиной здесь не уменьшается, но подобная тенденция отмечается по мере приближения к впадине Кампидано, где зона оруденения претерпевает изменения в связи с более молодыми морфотектоническими формациями.

В зависимости от местных условий варьирует характер жильного выполнения; так, в восточной части Монтевеккио (Сан Антонио) сопротивление более жестких блоков четко определило значительную концентрацию рудных минералов в почти горизонтальных, в общем параллельных трещинах.

Оставляя в стороне эти детали, представляющие интерес лишь с эксплоатационной точки зрения и указывающие на неравномерное распределение оруденения на территории острова, можно отметить, что месторождения более многочисленны и богаты вокруг небольших гранитных куполов, в южной Сардинии морфологически более отчетливо выраженных, чем в зонах кристал-

лического ореола крупных выходов гранита в центральной и Северной Сардинии.

Возможно, что речь идет о различных по глубине зонах батолитового тела.

С другой стороны, учитывая, что выходы гранитного плутона на поверхность носят самый разнообразный характер (апофизы, купола, эллипсоидообразные тела, особенно в Иглезиенте и Сульчис), можно заключить, что подобные факторы определили структурные различия в зонах развития кембрия и силура. При этом следует отметить, что кембрийские толщи в значительной степени утратили свою жесткость в ходе складкообразования, предшествовавшего внедрению гранитов.

В порядке региональной значимости вслед за свинцово-цинковыми месторождениями метасоматического характера в известняково-доломитовой толще среднего кембрия и жильными месторождениями, несогласно располагающимися в силурийских сланцах вокруг гранитных куполов в зонах разломов, следует упомянуть месторождения со смешанными сульфидами, согласные вмещающим породам.

В месторождениях последнего типа с пиритом, халькопиритом, цинковой обманкой и галенитом, удаленных от выходов гранита, оруденение, как правило, сопровождается силикатным роговиковым ореолом. Такие явления вызваны метасоматозом, протекавшим при относительно высоких температурах; процесс этот отличается от низкотемпературного метасоматоза в известняково-доломитовых толщах кембрия.

В Сульчис имеются, однако, месторождения со смешанными сульфидами в таких известняках.

Сульфиды проявляются в полосчатых концентрациях, согласных направлению сланцеватости, которое в свою очередь совпадает с направлением стратификации.

Порой, однако, рудные минералы следуют стратификации, и этот факт приводил в прежнее время некоторых исследователей к ошибочным выводам об осадочном, сингенетическом характере месторождений.

Как среда, проводящая рудные растворы, выделяются углистые и графитовые сланцы готланда (более или менее известковые), в которых имеются многочисленные месторождения, расположенные в синклиналях с ядрами верхнесилурийских пород.

Оруденение проявляется и в зонах мощных внедрений порфироидов, заключенных в смятых силурийских породах (берега Тирренского моря близ Виллапудзу, среднее течение Флюмендоза вплоть до краевой области равнины Кампидано до Ористано).

Но согласные месторождения со смешанными сульфидами известны и вне этой области. Заслуживает особого внимания рудный комплекс в синклинали, включающей гранитные купола

Арбуз и Монте Линас (Флюмини Маджоре и Конносфанадига), к югу от большого жильного поля Монтевеккио — Ингуртоза — Аква-Бона. Эта зона, лучше изученная в связи с эксплоатационными работами, недавно была частично описана Боргезаном.

Частично согласными свитам, слагающим синклинальную складку, являются также серебросодержащие месторождения Саррабус, с рудными минералами, почти совершенно идентичными тем, которые встречаются в месторождениях Флюминезе.

Свинцово-цинковые месторождения сопровождаются многочисленными нерудоносными жилами, причем среди последних абсолютное преобладание имеют жилы с кварцевым наполнением.

Встречаются, однако, баритовые жилы со следами галенита.

Некоторые из них не имеют видимой связи со свинцово-цинковыми месторождениями (например, жила меридионального направления в Ольястре близ берега моря).

В общем, зональное расположение месторождений, подчеркиваемое некоторыми исследователями, проявляется в Сардинии далеко не столь ясно, как в других металлогенических провинциях.

В связи с месторождениями галенита и, в частности, с общим положением гранитного батолита (которое определяет пегматитовые фации и жилы, особенно в Северной Сардинии) предполагается также возможность радиоактивных явлений.

Предварительные исследования рудных минералов, жильного выполнения и вмещающих пород показали слабую радиоактивность. Предполагаются, однако, новые полевые исследования.

Общий характер и детали хронологических соотношений между главными магматическими проявлениями герцинского цикла и рудными месторождениями, с ними связанными, пока еще не ясны. Касаясь возраста оруденения, можно отметить, что в то время как догранитные порфироиды относительно мало рудоносны, а нижнепермские порфириты практически стерильны, большинство месторождений свинца и цинка образовалось при консолидации гранита. В частности, свинцово-цинковые месторождения предшествуют жильным инъекциям основных пород, связанным с гранитным батолитом.

Ясно, что генетические процессы, создавшие обстановку, благоприятную для образования месторождений различного типа, проявлялись в течение длительного времени, охватывающего период с конца карбона до начала перми.

Таким образом, можно заключить, что тектонические дислокации и литологические особенности описанных выше отложений предопределили пространственное распределение оруденения в палеозое Сардинии.

Региональное распределение месторождений обусловливается преимущественно структурными линиями.

Так, в Северной Сардинии свинцово-цинковые месторождения располагаются главным образом в складчатой герцинской зоне, протягивающейся с юго-запада на северо-восток.

В Южной Сардинии наблюдается тот же порядок. В соответствии с преобладающим направлением юго-восток— северо-запад следуют догранитные тела порфироидов и большинство наиболее богатых порфиритовых и кварцитовых жил.

Особо следует отметить серию более поздних жил, в общем слабо рудоносных, располагающихся в юго-восточном секторе. Они вытянуты в меридиональном направлении, в то время как в кембрийских отложениях Иглезиенте подобные жилы, содержащие свинцовые руды, имеют широтное направление.

Вероятно, эти направления следует объяснить наличием зон ослабления, образованных дислокациями герцинского (а в юго-западной Сардинии и каледонского) цикла.

Основываясь на направлениях альпийского цикла (разломах и опусканиях, определивших современную конфигурацию острова), можно прийти к выводу, что эти дислокации распространились на значительную глубину.

Третичные и четвертичные продукты вулканической деятельности (липаритовые, трахитовые, андезитовые лавы) не дали, однако, сколько-нибудь значительных рудопроявлений.

Только одно месторождение (Монтепони) образовалось в третичное время. Отсюда, однако, не следует, что рудное выполнение образовалось при циркуляции вод, связанных с молодыми эруптивными породами, что имеет место в некоторых герцинских металлогенических провинциях Европы [1].

ЛИТЕРАТУРА

Техники, горняки и геологи уделяли внимание сардинским рудным месторождениям уже в первой половине XIX в. Однако в ту пору не производились исследования общего характера, основанные на методах, ныне применяемых в геологии. Широкое поле деятельности открыло применение геофизических методов. Следует отметить, что работы современных исследователей, посвященные весьма интересной и относительно богатой сардинской металлогенической провинции, немногочисленны и порой неточны. Заслуживают упоминания следующие работы:

Maxia C., Bibliografia mineraria della Sardegna, Cagliari, 1941. В работе объемом 248 стр. сведены исследования почти 400 авторов, проведенные до 1937 г. Аннотации и указания на источники облегчают пользование этой работой. В работе даются сведения о многочисленных рудопроявлениях (250).

Billows E., I minerari della Sardegna ed i loro giacimenti, Cagliari, 1941. В этом обзоре (объем 167 стр.) автор в сотрудничестве с С. Вардабассо дает общую схему возрастных соотношений и геологического строения месторождений.

Cavinato A., Epoche metallogeniche in Sardegna, Iglesias, 1939. Проблемы, затронутые в предыдущей работе, ставятся в этой краткой сводке.

[1] Это подтверждается стерильностью термальных вод в современных тектонических депрессиях Кампидано, Чиксерри, Тирсо и др.

Освещение многих вопросов представляется спорным. Тот же автор в работе Lezioni di giacimenti minerari, Torino, 1942, приводит ряд данных о сардинских месторождениях, основанных на собственных оригинальных исследованиях.

Несколько раньше очерк металлогении Сардинии дал другой отличный знаток ее рудных богатств — Стелла (S t e l l a A., Interessanti constatazioni fatte de recentamente in alcuno giacimenti metalliferi dell'Iglesiente, *Industria Mineraria*, Roma, 1935).

M a x i a C., Ряд работ, главным образом описательного характера, посвященных отдельным месторождениям в периодических изданиях (*Ass. Min. Sarda*, Iglesias; *San. Fac. Sieuze Univ.*, Cagliari; *Periodico di Mineralogia*, Roma; *Industria Mineraria*, Roma; *Ricerca Sientifica*, Roma; *Societé geologica italiana*, Roma.

C a v i n a t o A. e Z u f f a r d i P., Geologia di Montevecchio. Работа опубликована в материалах конгресса, созванного в связи со столетием рудника Монтевеккио.

П. ЦУФФАРДИ[1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОНТЕВЕККИО В САРДИНИИ[2]

Краткое содержание

Месторождение, являющееся объектом данного исследования, связано с классической зоной разломов, которая, характеризуясь большим разнообразием металлоносных фаций, разнообразными проявлениями окисления и метаморфизма и различными условиями выполнения рудными жилами, приурочена к смятым в антиклинальную складку силурийским песчано-глинистым отложениям.

Комплекс силурийских отложений интрудирован в южной части района гранитами, образующими массив Арборезе, и перекрыт на севере более молодыми отложениями (пермо-триасового, эоценового и миоценового возрастов).

Различные вулканические породы встречаются в большом количестве в рудном районе и дают многообразные вариации жильных структур во вмещающих породах. Соотношения между этими породами и комплексом вмещающих отложений иллюстрируются геологическими разрезами, дающими детальное изображение некоторых участков. Значительная глубина разработки месторождений (до 600 *м*) позволяет установить, и при этом достаточно детально, телескопический характер распределения рудных минералов. Автор приступил в настоящее время к систематическому исследованию закономерностей в изменении содержания редких металлов (индия, галлия, германия, кадмия, вольфрама), ассоциированных с цинковой обманкой, в зависимости от глубины.

Настоящая работа завершается оценкой запасов месторождения Монтевеккио.

Введение

Юго-восточная часть острова Сардинии — район Иглезиенте — сложена преимущественно палеозойскими породами, представленными свитами кембрия (среднеакадский ярус) и силура (с преобладанием ордовичских отложений).

Весь этот осадочный комплекс в весьма сильной степени дислоцирован и прорван интрузиями гранитов, порфиритовыми, аплитовыми и лампрофировыми жилами. В пределах этого комплекса имела место гидротермальная деятельность, как правило, сопровождающаяся рудопроявлениями различного промышленного значения. Известны руды Pb, Ag, Zn (преобладающие типы), но встречаются также Ni, Co, Mo, As, Cu и другие металлы.

Важнейшие месторождения в этом районе: Монтепони, Сан Джованни, Кампо Пизано, Аренас (в кембрийских толщах);

---

[1] P. Zuffardi.

[2] Перевод с итальянского проверен Я. М. Свстом (*Прим. ред.*).

Монтевеккио, Ингуртоза, Дженнамаре (в силурийских отложениях). Все они известны со времен римского господства, и разработка их продолжается полным ходом и в настоящее время.

Свинцово-цинковые месторождения Монтевеккио, которые описываются в настоящей работе, дали до конца 1947 г. около 1 000 000 *т* серебросодержащей свинцовой руды (галенита), причем почти половина добычи приходится на последние 10 лет. Среднее содержание Pb в руде составляет 3,1%, Zn — 4,3%, Ag — 390 *г* на тонну галенита.

Геологическое строение района Монтевеккио

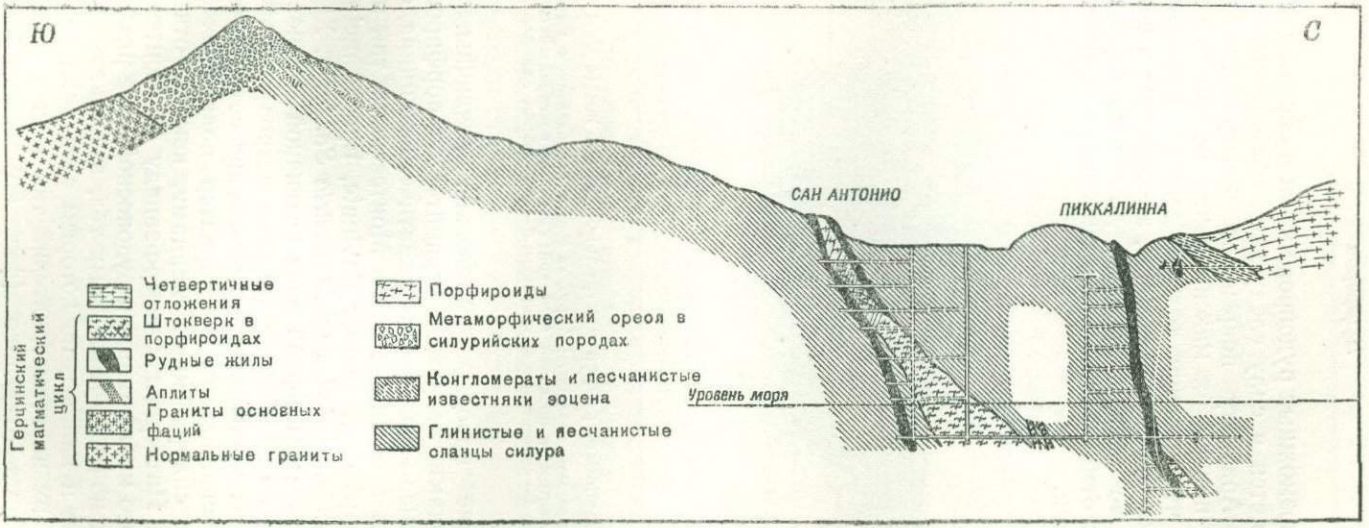
Месторождение располагается в классической зоне разломов, приуроченных к мощной песчано-глинистой ордовичской толще, смятой в антиклинальную складку, уходящую к югу в сторону гранитного массива Арборезе и перекрытую на севере маломощными пачками более молодых отложений: пермо-триасовыми (брекчии, серые и синеватые мелкозернистые известняки, лиловые мергели), эоценовыми (конгломераты с крупными блоками известняка, песчаные и глинистые известняки кирпично-красного цвета) и миоценовыми (светлые крупнозернистые известняки). В покровном комплексе отмечены маломощные излияния раннечетвертичных лав вулкана Аркуенту. Весьма интересны явления метаморфизма на контакте гранитов и силурийских сланцев, которым посвящена подготовляемая мною специальная работа.

В этой статье достаточно будет отметить, что на расстоянии около 100 *м* от контакта в гранитах происходит смена фаций: чисто гранитный тип пород переходит в менее кислые разности с включениями многочисленных и порой весьма крупных (до нескольких куб. метров) глыб основных пород, гранодиоритов и оливиновых габбродиоритов.

В сланцах контактный ореол имеет мощность около 300 *м*, и к этой зоне приурочены характерные для него минералы: альбит, ортоклаз, биотит, мусковит, кордиерит, серицит, шпинель, корунд.

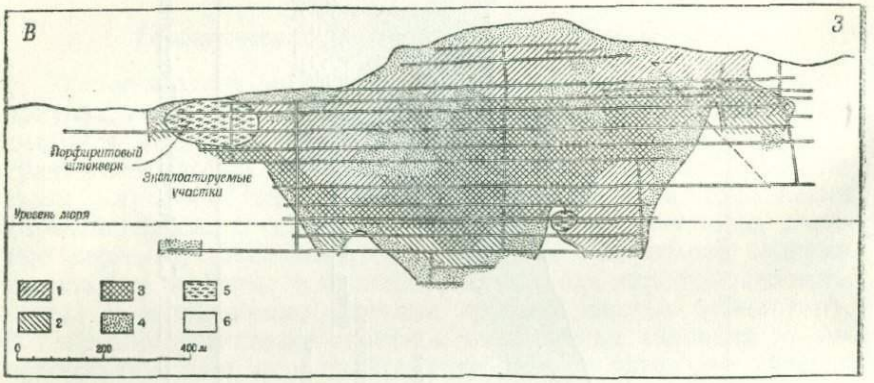
Силурийский комплекс имеет в Монтевеккио мощность порядка 600—800 *м* и следует параллельно линии контакта с гранитами, погружаясь с северо-запада под углом в среднем около 30°.

К востоку, в толще силурийских отложений, отмечается погружение с амплитудой порядка 150 *м*; далее в этом направлении слабо смятый силурийский комплекс продолжает опускаться и переходит в синклинальную складку, перекрытую мощной толщей четвертичных отложений в районе Кампидано. Следует отметить, что как на северо-востоке, где развиты лавы Аркуенту, так и на востоке, в районе Кампидано, к силурийскому комплексу приурочены гидротермальные рудные жилы.



Фиг. 66. Продольный разрез жил Сан Антонио и Пиккалинна.

Выявление возможных рудопроявлений в окрестностях Монтевеккио затрудняется в силу следующих обстоятельств: 1) лавовые излияния Аркуенту покрывают пространство площадью 15×20 *кв. км*, причем их максимальная мощность доходит до 450—500 *м*; 2) четвертичная толща Кампидано протягивается в длину на 100 *км*; буровые скважины, заложенные в центральной части области ее распространения, дошли до глубины 275 *м*, причем на этих отметках были все еще констатированы четвертичные отложения.



Фиг. 67. Продольный разрез центральной части жилы Сан Антонио.

1—рудная зона с преобладанием галенита; *2*—рудная зона с преобладанием цинковой обманки; *3*—рудная зона с галенитом и цинковой обманкой; *4*—зоны с преобладанием нерудоносного кварца; *5*—серицитовые порфироиды; *6*—силурийские сланцы.

Вулканические породы Монтевеккио различны. Наиболее древними породами являются серицитовые порфироиды. Они безусловно древнее герцинского магматического цикла, с которым связаны явления оруденения как в Монтевеккио, так и в других районах Сардинии (см. работу Cavinate, Epoche metallogeniche in Sardegna, *Rescomti dell Ass. Mineraria Sarda*, v. XLIV). Порфироиды представлены серией даек различной мощности (от нескольких метров до нескольких десятков метров), порой имеющих почти форму линз мощностью до нескольких сот метров.

Иногда порфироиды имеют характер подводных излияний, переслаиваясь с силурийскими сланцами, как это отчетливо заметно в районе Питзорига к северо-западу от Монтевеккио. Но чаще они, как это наблюдается в рудоносной зоне разломов, приобретают облик почти вертикальных тел, выполняющих крупные древние кратеры и каналы, по которым следовала лава. В этом случае влияние их на геометрический тип жил в зоне разломов выражается весьма отчетливо (фиг. 66). Это обстоятельство

будет детально рассмотрено ниже при описании упомянутых зон.

Порфироиды представляют собой тонко полосчатые породы бледнозеленого или желтоватого цвета, причем плоскости полосчатости совпадают с плоскостями напластования силурийских сланцев; имеются две другие системы плоскостей, отвечающие направлениям наименьшего сопротивления. Одна из них имеет падение на юг под углом, близким к 60°, другая, почти вертикальная, характеризуется меридиональным простиранием и и определяет ряд геометрических элементов зоны разломов.

Средний химический состав порфироидов иллюстрируется данными анализов химической лаборатории Горного общества Монтевеккио:

SiO_2	70—75%
Al_2O_3	16—20%
CaO	0,5—1,5%
MgO	0,3—1%
$Na_2O + K_2O$	3,5—5%
$H_2O + CO_2$	2,5—3%
Fe_2O_3	Следы

Порода имеет в общем афанитовый облик. При микроскопическом исследовании устанавливается, что она состоит из округленных, или имеющих форму глазков, выделений кварца с частично разъеденными краями, табличек полевого шпата, большей частью соссюритизированного. В основной массе с флюидальной текстурой преобладают чешуйки серицита, располагающиеся полосами, параллельными плоскости полосчатости. Порфировая структура выявляется весьма отчетливо. Кристаллы первой генерации имеют 0,3 *мм* в поперечнике, второй генерации — 0,05 *мм*.

Внедрение порфироидов вызвало в сланцах лишь несущественные термально-метаморфические изменения. Сравнивая два образца одного и того же глинистого сланца, взятых в 50 *м* от контакта и из небольшого блока, включенного в порфироиды, удалось установить, что органическое вещество во втором образце обуглено, коллоидные глинистые частицы испытали перекристаллизацию с новообразованием чешуек серицита.

Породами более древними, чем в зоне разлома, но уже относящимися к герцинскому магматическому циклу, являются эвриты (euriti), жилы которых мощностью более 100 *м* известны в западной части области оруденения Монтевеккио близ границы с рудным районом Ингуртоза. Эвриты состоят преимущественно из SiO_2 (85—90%), Al_2O_3 (2,5—5%), CaO (1,20%), MgO (0,5%), щелочей (4—5%), $H_2O + CO_2$ (1%). Они обладают порфировой структурой и однородной текстурой.

Как порфироиды, так и эвриты сыграли важную роль в формировании зоны разломов Монтевеккио, о чем речь будет идти впереди. Но гораздо большее значение с этой точки зрения имеют граниты, которыми представлена первая фаза консолидации герцинской магмы. Об их минералогическом составе уже было вкратце упомянуто при описании явлений контактного метаморфизма. Следует отметить наличие в гранитах весьма типичных пегматоидных фаций, содержащих много турмалина. Эти фации описаны Кавинати в *Periodico di Muneralogia* за 1933 г.

Моложе гранитов, но древнее оруденения многочисленные жилы порфиров, аплитов и лампрофиров, секущие гранитные массивы. Мощность этих жил всегда невелика — от 10—20 *см* до нескольких метров. Протяженность и глубина по падению жил редко достигают или превышают 100 *м*. Ориентировка их различна, хотя вблизи главной рудной жилы преобладают направления, близкие к вертикальным и параллельные самой жиле. Иногда они залегают как пластовые жилы. Их значение с точки зрения возможного распространения оруденения практически ничтожно.

Значительно моложе всей минерализации лавовые формации Аркуенту, представленные пачками базальтовых туфов, последовательно прорванными новыми излияниями, и более юными туфами. Толща лавовых конгломератов пересекается внушительными по размерам телами более стойких диабазов. Вся зона распространения эффузивов, дикая и обнаженная, резко отличается от местности, сложенной другими породами, и ландшафт ее чрезвычайно своеобразен и привлекателен.

Вулканические эксплозии Аркуенту связываются со сбросами (с максимальной амплитудой 34 *м*), к которым приурочена также полоса рудопроявлений.

Зона разломов Монтевеккио

Протяженность этой зоны — около 6 *км*, и вытянута она в направлении северо-восток 60° — юго-запад 60°, параллельно выходу гранитов и линии, отмечающей контактово-метаморфический ореол; причем она отстоит от последней в среднем на расстоянии 200—600 *м*.

На западе жилы Монтевеккио продолжаются и на соседних участках Ингуртоза и Дженнамаре; на юге известны и разрабатываются другие жилы, северо-восточного простирания (Перда с'Олиу, Фенугу Сибирри, Перда с'Пипера), также параллельные гранитному массиву, который образует здесь почти эллипсоидальный контур. Как правило, жилы по мере углубления отдаляются от гранита, падая под углами 60—70°. Так, жилы в районе Монтевеккио и Ингуртоза падают на север, жилы западных

участков — на запад, южных — на юг (из этого правила имеются, однако, и исключения).

Имеются также радиальные жилы; некоторые из них достигают жил, окружающих гранитный массив, и пересекают их, причем порой такие жилы внедряются непосредственно в граниты.

Отчетливо выявляется тесная связь между разломами и положением гранитного массива. Объяснить причины подобной взаимосвязи нелегко. Действительно, если принять гипотезу, которая объясняет происхождение разломов толчками, направленными снизу вверх и одновременно вызвавшими внедрение гранитной магмы, то остается непонятным, каким образом радиальные жилы проникают в гранит. Кроме того, силурийские сланцы достаточно пластичны, и в этом случае они должны были бы скорее сжиматься и сплющиваться, не давая разломов. Отмечается и то обстоятельство, что разломы в Монтевеккио пересекают также аплитовые, порфировые и лампрофировые жилы, образование которых относится к последней фазе герцинского ортомагматического цикла. Следовательно, разломы эти образовались в постгерцинское время, и было бы вполне логично заключить, что они явились следствием тектонической усадки, в процессе которой участки метаморфического ореола слились с гранитным массивом в единый блок. Усадка эта была вызвана, по крайне мере частично, сокращением объема той же гранитной магмы в глубинной зоне в процессе охлаждения. В поверхностной зоне масса пород была уже в то время консолидированной и жесткой.

Следует отметить, что была сделана попытка исчислить величину уменьшения объема при консолидации гранитной магмы Арборезе и определить интервал времени, потребный для этого (Borghesan, Il Granito e il campo filoniano Arborese, *Resconti dell' Ass. Mineraria Sarda. v. XLIX*). Речь шла при этом лишь об определении величины уменьшения объема гранитного купола, обнажающегося на плато Арборезе (диаметром около 10 *км*).

Мне представляется более справедливым рассматривать эту массу не как консолидированный блок, а как выступ обширного и погруженного гранитного массива, подобный таким же выступам в зоне между Арбуз в Вильячидро и в Оридде (в 10 *км* к юго-западу).

Выступы эти прорывают не очень мощную толщу сланцев, и соотношения выходов гранитов и осадочных пород выражаются в явлениях контактного метаморфизма в силурийских сланцах этой зоны, которые особенно отчетливо наблюдаются к северу от Арборезе в пачках сланцев, падающих на север; в районе же Оридды, напротив, направления падения этой толщи различны.

Еще Ламарморо в своей работе «Путешествие в Сардинию», вышедшей в свет в первой половине прошлого века, выдвинул точно такую же гипотезу о тектоническом строении этой области.

Такое предположение позволяет объяснить, почему разломы вдоль северного края гранитного массива Арборезе более значительны, чем вдоль его южного борта. Достаточно лишь предположить, что часть силурийской свиты к северу от массива, на некотором удалении от контакта с ним, представляла жесткий блок в то время, когда происходила консолидация; естественно, что при сжатии гранитов в сланцах возникали крупные открытые трещины; между тем в районе между Арбузом и Ориддой, где отложения более сжаты под воздействием тангенциальных движений, и в выположенных толщинах силурийских сланцев имеется много мелких трещин с непостоянным направлением падения. Если жилы, выполняющие трещины разломов, достигают в Монтевеккио 25 *км*, то к югу от Арборезе они не превышают по мощности 2 *м*.

Общий характер распределения трещин в пределах всей зоны разломов не представляется возможным установить на основании имеющихся данных. Лишь по мере накопления новых материалов и их публикации можно будет разрешить этот вопрос.

Возвращаясь к разломам Монтевеккио, отметим, что как в крайней восточной, так и в крайней западной части зона разломов раздваивается в виде буквы V, ветви которой в Сан Антонио направлены к востоку с широтным простиранием. В Пиккалинне простирание нормальное. Соответственно ветви Тил Ингуртозу, Брассеу и Тетто следуют к западу.

Эту особенность легко можно объяснить, если принять во внимание, что в восточной части района имеются порфироиды, залегающие в виде тел, выполняющих вулканические каналы, а в западной части выходят многочисленные жилы эвритов.

Эти породы, внедряясь в силурийские сланцы, тем самым, безусловно, определяли специфические особенности зоны разломов.

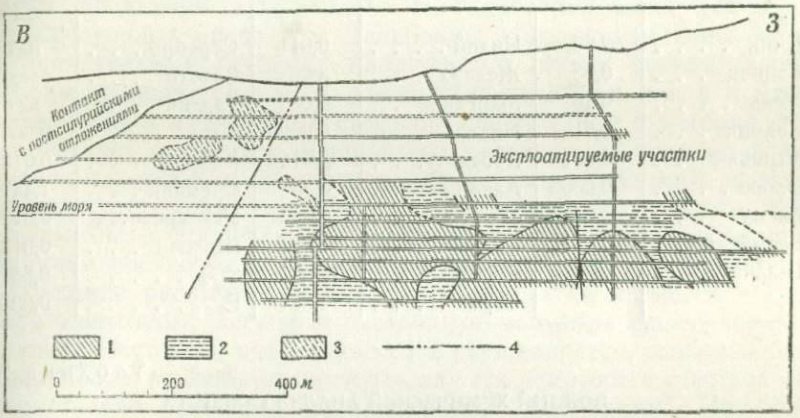
Минерализация и морфология отдельных разломов

При изучении главного поля разломов Монтевеккио следует отметить, что оно представлено не одними разломами, а пучком почти параллельных друг другу или сходящихся в одной точке трещин различной протяженности и ширины, от которых порой отходят небольшие ответвления.

Это поле разрабатывается пятью рудниками компании Монтевеккио: Сан Антонио, Пиккалинна, Санна, Телле и Касаржу. Разделение рудного поля на пять зон, соответствующих участкам, разрабатываемым этими предприятиями, весьма условно, так как жилы протягиваются через весь рудный район, хотя порой отрезки жил, содержащие руды, сменяются непродуктивными участками различной протяженности.

Главными рудными минералами являются галенит и цинковая обманка; далее следует аргентит, марматит, пирит, халькопирит, арсенопирит. Жильное выполнение представлено преимущественно кварцем, но часто встречаются также барит, сидерит и кальцит. В редких случаях констатируется родохрозит. Вторичными минералами являются церуссит, англезит, пироморфит, платтнерит, массокот, госларит и гидроцинкит.

Наиболее важные редкие металлы в рудах Монтевеккио — кадмий, галлий, германий, индий. Последними исследованиями



Фиг. 68. Продольный разрез центральной части жилы Пиккалинна.

Обозначения *1* и *3* неясно отпечатаны в оригинале и не поддаются расшифровке; *2* — милонитовая зона; *4* — сброс.

в рудах обнаружен вольфрам, ассоциированный с цинковой обманкой. Эти металлы извлекаются при электролитической обработке и дистилляции цинка на соответствующих предприятиях в Порто Маргера, тогда как свинец, серебро и медь дает свинцово-плавильный завод в Сан Гавино Монреале. Все эти предприятия управляются компанией Монтевеккио.

Приводим данные химических анализов продажных цинковой и свинцовой руд — свинцовой обманки и галенита. (Данные химической лаборатории в Порто Маргера и лаборатории Грифитса в Лондоне).

С минералогической точки зрения данные этих анализов имеют весьма относительное значение, поскольку образцы, подвергавшиеся исследованиям, представляют не чистый минерал. Они взяты таким образом, что содержат частицы жильного выполнения и вмещающих пород, неотделенные от руды в процессе промывки.

Распределение полезных минералов и минералов жильного выполнения в рудных телах, выполняющих трещины, весьма непостоянно как в смысле объемного содержания их в этих телах, так и в отношении концентрации. Соотношения эти непостоянны и по глубине, как об этом будет сказано ниже.

Таблица 21–22

ПОЛНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СФАЛЕРИТА

	%		%		%
Цинк	59,66	Индий	0,011	Серебро . . .	нет
Свинец . . .	0,93	Железо . . .	3,06	Золото . . .	следы
Медь	0,18	Марганец . .	0,033	Таллий . . .	нет
Кадмий . . .	0,51	Никель . . .	0,0029	Фтор	0,0006
Мышьяк . . .	0,021	Кобальт . . .	0,0152	Хлор	0,013
Олово	0,0006	Алюминий . .	0,15	Кремний . . .	1,48
Висмут . . .	0,0003	Магний . . .	0,043	Углекислота .	0,012
Германий . .	0,0012	Кальций . . .	0,22	Щелочи . . .	0,013
Галлий . . .	0,017	Барий	следы	SO_4	0,83
		Сера	32,34	P_2O_5	0,035

Таблица 23

ПОЛНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАЛЕНИТА

	%		%		%
Pb	70,70%	Sn	0,01	CaO	0,05
Ag	0,000535	Cu	0,11	MgO	0,07
Au	следы	Bi	0,001	S	14,37
Zn	4,63%	Fe	1,68	$BaSO_4$	0,45
As	0,02%	A_2O_3	0,25	SiO_2	5,84
Sb	0,34%	MgO	0,08	Щелочи . . .	1,34

Наиболее продуктивным является рудник Сан Антонио, дающий треть общей добычи района. Рудник Сан Антонио имеет также и наибольшие запасы свинцово-цинковых руд. Рудное тело протяженностью свыше 1 *км* разрабатывается до глубины 550 *м*. При этом на 6 горизонтах разработка идет на дневной поверхности; 10 горизонтов разрабатываются в верхних частях шахт и 2 — в нижних.

Галенит и свинцовая обманка содержатся в жиле и в одинаковом количестве (около 4,2%). Жильное выполнение представлено преимущественно кварцем.

Жила является выполнением правильной по форме трещины почти постоянной ширины, в среднем около 8—10 *м*, и имеет четко выраженные зальбанды с зеркалами скольжения, вызванными, вероятно, смещениями жильного выполнения при его консолидации. Текстура жилы полосчатая. Вдоль зальбандов располагаются полосы кварца мощностью 80 *см* — 1 *м*, окаймленные с внутренней стороны прожилками свинцовой обманки и галенита, перемежающимися с кварцевыми и реже сидеритовыми прослоями. В центре располагаются вытянутые вдоль оси жилы кристаллы кварца, и реже гипса длиной 15—20 *см*, которые соответствуют последним выделениям из гидротермальных растворов весьма низкой температуры. Зальбанды жилы не изменены. Лишь на значительных глубинах наблюдается легкая серицитизация, которая проявляется как во вмещающих сланцах, так и в материале жилы в интервале нескольких сантиметров и которая свидетельствует о щелочном характере раствора. В верхних зонах отмечаются явления аргиллитизации (аргиллификации), вызванные циркулирующими по трещинам нисходящими водами. Кое-где заметна и силификация, что весьма просто можно объяснить влиянием растворов, содержащих кремнезем.

Трещина разлома рудника Сан Антонио не является в сущности элементом, имеющим постоянную геометрическую характеристику. Часто она раздваивается и расщепляется, особенно близ поверхности, на небольших глубинах. На некоторых участках она представлена четырьмя параллельными трещинами. На более значительных глубинах имеются линзовидные раздувы, которые хорошо прослеживаются по мере продвижения по падению жилы.

Мощность жилы устанавливается отчетливо, но колеблется в значительных пределах. На некоторых участках мощность составляет 5—10 *м*, и эта величина наиболее характерна. Там, где жила распадается на четыре параллельных тела, ее суммарная мощность достигает 40 *м*. На глубоких горизонтах, где жила не разветвляется, ее мощность не превышает 2—3 *м*.

Направление разлома не всегда может быть определено достаточно отчетливо, как на то и указывает фиг. 67, где показаны только контуры главных трещин.

На фигуре в целях упрощения не показан выход порфироидов, отмеченный на фиг. 66.

На фиг. 67 пунктирными линиями показан обрыв зоны разлома Санна к западу.

Каждое ответвление жилы характеризуется особым минералогическим составом. Участки жилы в западной и центральной части района сходны по типу. Здесь встречаются кварц, цинковая обманка и галенит в обычных соотношениях, характерных для главного ствола жилы; жильное выполнение здесь преимущественно кварцевое. Между тем жила «7-го горизонта кровли»

мощностью от 30 до 80 *см* содержит лишь чистый галенит, а жила, носящая название «линзы Маркон», представлена цинковой обманкой и галенитом с преобладанием первого компонента и содержит мало кварца.

Жила «линза Маркон» заслуживает особого внимания, поскольку, будучи приурочена к силурийским отложениям не перекрытыми более молодыми породами, она в западной части входит в мощную пачку глинистых пород, настолько пластичных, что в них не могли образоваться трещины разломов.

В жиле Сан Антонио отчетливо выражаются изменения в степени минерализации с глубиной. В общем, можно отметить, что в верхней части преобладает плотный микрокристаллический кварц, слабо оруденелый. На глубине 10 или более метров встречаются уже наряду с кварцем богатые скопления галенита, тогда как цинковая обманка приурочена к более глубоким частям жилы (порядка 200 *м*) и постепенно вытесняет галенит (галенит присутствует до глубины 400—500 *м*, тогда как цинковая обманка до 500—550 *м*). Кварц становится молочным, с более или менее ясно выраженной флюидальной структурой, или серым, особенно когда он сопровождает цинковую обманку. На больших глубинах снова преобладание получает белый, крупнозернистый кварц. Другим минералом, характерным для больших глубин, является пирит, встречающийся в небольших зернах или примазках в богатых рудных зонах, особенно близ окончания жил. В нижних частях жил он встречается в виде прекрасно сформированных кристаллов размером в 3—4 *мм* в открытых трещинках, расположенных по падению жилы на расстоянии нескольких метров друг от друга.

Отмечаются следы пирротина в кварце (на горизонте Сартори), содержащем также включения цинковой обманки и галенита.

На фигуре указаны примерные границы этих зон.

Более наглядными представляются колебания в содержании на глубине редких металлов; закономерности эти до сих пор, однако, еще не достаточно изучены. Известно, что уменьшается содержание серебра в галените, и то же наблюдается и для кадмия в цинковой обманке. Неизвестно доподлинно или, точнее, еще не изучено распределение других металлов — индия, галлия, германия. Систематические исследования в этом направлении лишь недавно начаты в химической лаборатории в Порто Маргера; данные их пока еще не достаточны для каких бы то ни было заключений.

Жила Пиккалинна смещена к северу жилой Сан Антонио и простирается с северо-востока 70° на юго-запад. Протяженная зона с небольшими рудопроявлениями, не имеющими промышленного значения, приурочена к западной стороне и доходит

до крайней западной оконечности Пиккалинны и Санны; частично вскрытая оруденелая зона протяженностью свыше 1 *км* находится в восточной части, в постсилурийских отложениях. Жила Пиккалинна состоит из серии полос, заключенных в толще глинистых сланцев.

Одна из таких полос мощностью в несколько метров протягивается на глубину до 100 *м* (максимум).

Эти полосы сопровождаются зоной милонитизации с рудными включениями, не имеющими промышленного значения.

Зона жил Пиккалинна имеет среднюю мощность 12 *м* и разрабатывается до глубины 430 *м* десятью горизонтами, выходящими к главному шахтному стволу, и тремя горизонтами, соединенными с внутренним стволом.

Зальбанды жил, в общем, обозначаются четко, особенно в их богатых участках; в зоне милонитизации зальбанды выражены неясно и расплывчато; серицитизированные сланцы, заключенные в жиле, лишь постепенно принимают свой нормальный облик.

Минерализация обычная, хотя содержание бывает различным. В Пиккалинне галенит преобладает над цинковой обманкой (среднее содержание их соответственно 4,2 и 3,3%), но местами эти показатели весьма изменчивы.

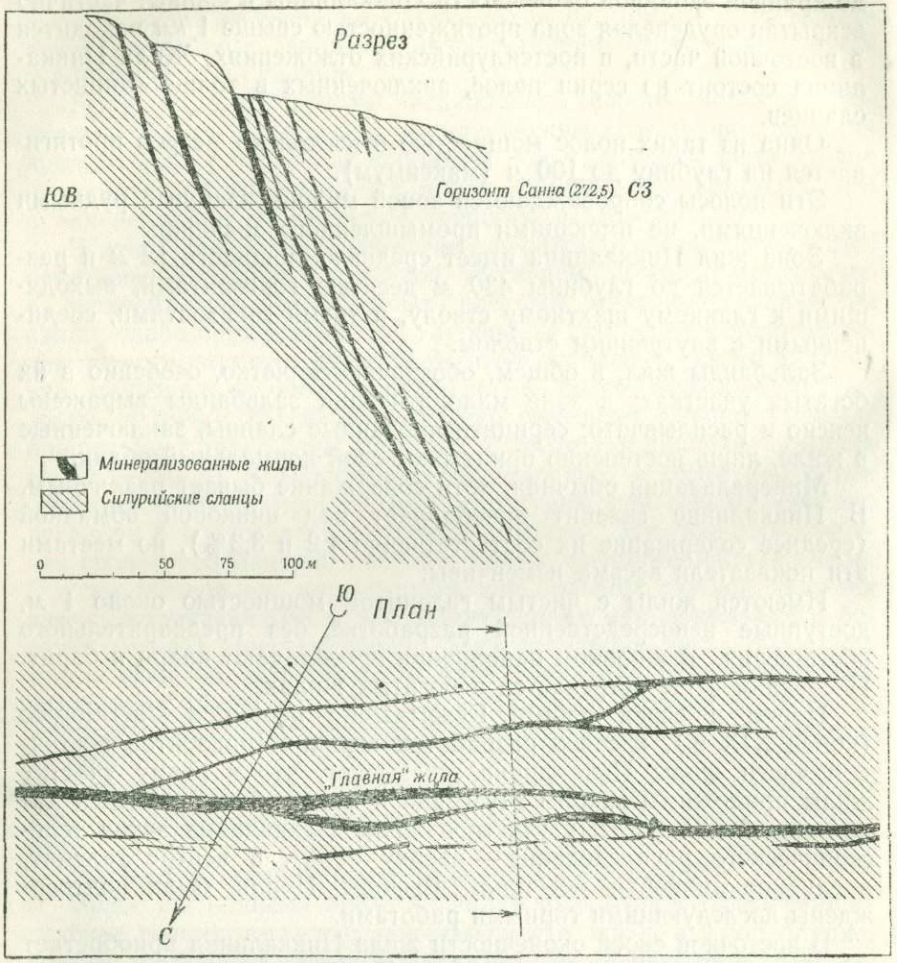
Имеются жилы с чистым галенитом мощностью около 1 *м*, доступные непосредственной разработке, без предварительного обогащения. В жильном наполнении преобладают кварц и барит. Последний чаще встречается в богатых жилах.

Цоппи в своей работе Desertazione geologico-mineralogico (конец XIX в.), касаясь разработок верхних горизонтов восточной части жилы Пиккалинна, указывает, что к этому участку жилы приложимы законы Муассана и может быть применен характерный для богатых участков жилы Пиккалинна закон телескопического распределения — вверху барит, в центре галенит, в глубине цинковая обманка. Выводы Цоппи были подтверждены последующими горными работами.

В восточной своей оконечности жила Пиккалинна приобретает изгиб со смещением к югу на 35 *м*. Такие же сужения меньшего масштаба можно наблюдать и в других местах, в частности на горизонтах 4 и 5 (фиг. 68).

Эти явления должны были возникать до оруденения, как это явствует из механических соображений — нельзя допустить, что твердая, кварцевая жила была сжата и смоделирована мягкими глинистыми сланцами.

На фиг. 68 дан вертикальный меридиональный разрез рудника с целью проиллюстрировать распределение богатых участков в Пиккалинне. Нет возможности дополнить это исследование характеристикой оруденения верхних горизонтов, в значительной степени исчерпанных и недоступных.



Фиг. 69. План и вертикальный разрез через минерализованную жильную зонну Санна.

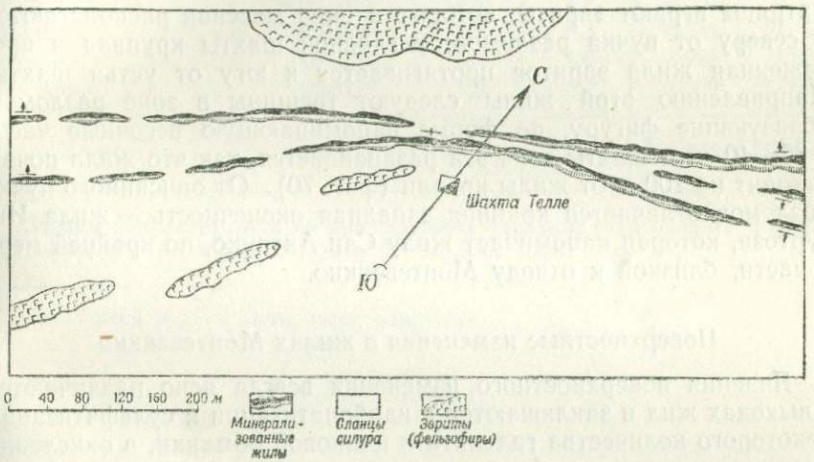
Жилы Санна, Телле, Касаржу представляют пучок весьма постоянных выполнений разломов; имеются, правда, случайные отклонения содержания металла в руде. Речь идет о пучке весьма сближенных жил с мощностью, редко превышающей 1—2 *м*, протягивающихся максимум на сто или несколько более метров на глубину. Между жилами вмещающие сланцы смяты и разбиты мелкими трещинами с обычно пустыми жилками мощностью в несколько сантиметров.

Местами сланцы аргиллифицированы.

Суммарная мощность пучка жил примерно 40—60 *м*. Зальбанды их выражены не четко, так же как в зоне миллонитизации в Пиккалинне. Вмещающие сланцы на контакте лишь постепенно и медленно приобретают нормальный облик.

Фиг. 69 представляет план и разрез типичной зоны в Санне (зона горизонтов 3—4).

Промышленное оруденение обычно. Отмечается преобладание цинковой обманки над галенитом в Санне и Касаржу и обратные



Фиг. 70. Жилы и шахта Телле.

соотношения к цинку—определенный процент. В жильном выполнении слабее представлен кварц, но часто встречаются сидерит, барит, кальцит, последний главным образом в Телле и Касаржу. Структура жил полосчатая и брекчиевидная, с характерным кокардовым распределением вокруг ядер оторванного от вмещающей толщи сланца или обломков минералов.

Очень часто встречаются трещины, выполненные каким-либо одним видом рудного минерала; явление понятное, если учесть длительность гидротермальной фазы герцинского цикла и весьма постоянный характер растворов различного состава.

В правильных трещинах разломов для восходящих растворов имелся лишь один или немногие пути значительной ширины, и поэтому осадок, выпадающий из раствора, осаждался, образуя многочисленные слои (Сан Антонио, центральные участки). В пучке разломов пути следования растворов были более многочисленны и обладали небольшой протяженностью и шириной. Отсюда и понятно, что достаточно было пройти небольшому

количеству раствора, чтобы совершенно заполнить эти трещины, и при этом однородным рудным минералом (такой случай имеет место в Телле, где известна жила мощностью 80 *см* с чистым галенитом и жилы, содержащие лишь один барит или кальцит).

Долговременное заполнение и разнородный химический состав растворов обусловили отчетливое изменение в порядке осаждения (например, в Сан Антонио, где имеются жилы нерудного кварца в рудном поле и жилы «7 почвы» с чистым галенитом и рудными минералами различного состава).

Последнее замечание о морфологии жилы Телле. В ней роль матрицы играют эвриты, которые в виде массива располагаются к северу от пучка разломов; у главной шахты крупная и протяженная жила эвритов протягивается к югу от устья шахты. Направлению этой жилы следуют трещины в зоне разломов, образующие фигуру, по форме напоминающую песочные часы; в 35—40 *м* от шахты зона эта раздваивается, так что жила почвы отходит на 100 *м* от жилы кровли (фиг. 70). От описанного пучка разломов отличается крайняя западная оконечность — жила Ингуртоза, которая напоминает жилу Сан Антонио, по крайней мере в части, близкой к отводу Монтевеккио.

Поверхностные изменения в жилах Монтевеккио

Явления поверхностного изменения всегда ясно различаются в выходах жил и заключаются в карбонатизации и сульфатизации некоторого количества галенита и цинковой обманки, в окислении пирита и сидерита с образованием окислов железа, которые придают выходам рудных жил особый вид, обозначаемый термином «brucione» («обожженные»). Только в ограниченной части жилы Санна явления поверхностного изменения приобретают особенные значения и интенсивность. Там встречаются тела, представленные окислами железа, погружающиеся на глубину свыше 120 *м* и содержащие куски чистого галенита и гигантские кристаллы церуссита. Вероятно, возникновением своим эта небольшая зона обязана явлениям метасоматоза под действием восходящих растворов постгерцинских по времени и, следовательно, более поздних.

При исследовании выходов Монтевеккио можно установить следующий критерий, определяющий интенсивность рудопроявлений на поверхности.

Выходы на поверхность оруденелых жил в отличие от безрудных минерализованы и имеют «обожженный» характер. Чем ярче выражены эти особенности на поверхности, тем богаче оруденение на глубине.

Этот критерий до сих пор еще не опровергнут. Неясен случай в месторождении «жила Маркон», где выходит лишь часть

рудного тела, тогда как остальная часть оказывается скрытой силурийскими сланцами.

Таблица 24

ЗАПАСЫ[1] ЖИЛЫ МОНТЕВЕККИО

Рудник	Количество руды, *т*	Содержание		Количество металла, *т*	
		Pb, %	Zn, %	Pb	Zn
Пиккалинна	450 000	4,2	3,3	18 900	14 850
Сан Антонио . . .	2 250 000	4,2	4,1	94 500	92 250
Санна	1 650 000	1,7	5,3	28 050	87 450
Телле	180 000	3,3	1,0	5 940	1 800
Касаржу	350 000	1,0	5,0	3 500	17 500
Всего . . .	4 880 000	~3,1	~4,6	150 890	213 850

Запасы эти могут быть по крайней мере удвоены, если принять в расчет глубокие, еще не полностью разрабатываемые зоны.

[1] Для всей рудной зоны, ныне известной.

Д. КОЛЬБЕРТАЛЬДО[1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РАЙБЛ ВО ФРИУЛИ

Краткое содержание

После краткого обзора литературы по месторождению Райбл дается описание геологии района, включая подробную характеристику эруптивных и пирокластических формаций Рио Фреддо. Предлагается новая интерпретация общей тектоники и ее деталей.

Месторождение Райбл относится к месторождениям замещения в триасовых известняках, мезотермального или телетермального апомагматического характера; оно имеет форму связанных между собой столбов и жил. Среди полезных минералов здесь различается пять разновидностей цинковой обманки (аморфная красная или желтая, кристаллическая черная, серая или розовая), рассматриваются взаимоотношения между цинковой обманкой и другими сульфидами — галенитом, марказитом, пиритом и пирротином. Второстепенными минералами здесь являются доломит разных видов и барит. Устанавливается характер взаимосвязи между парагенетической последовательностью минералов и тектоническими фазами.

Минерализация приписывается действию гидротермальных растворов, исходящих от глубинного магматического источника, синтектонического с вулканической деятельностью в пери-адриатической альпийской дуге. Ее возраст приурочивается ко времени между концом олигоцена и началом миоцена.

Указываются территории, благоприятные для дальнейших поисков.

Введение

Свинцово-цинковое месторождение Райбл расположено в западных Юлианских Альпах в 8 *км* к югу от Тарвизио близ селения Каве дель Предиль (Райбл).

Эти месторождения были известны уже в начале XI в. и разрабатывались время от времени на протяжении всего средневековья. К концу XIX в. добыча здесь была сильно увеличена австрийцами, но наибольшего развития она достигла после присоединения Тарвизио к Италии; в 1923 г. итальянское правительство передало эксплоатацию его «Soc. An. Miniere Cave di Predil (Raibl)».

Месторождение Райбл уже изучалось целым рядом компетентных исследователей, среди которых надо назвать Пошепни (1873), Гебля (1903), Краусса (1913) и Торнквиста (1931). Хотя монографии этих авторов и были для своего времени очень ценными, сейчас они представляют главным образом исторический интерес, принимая во внимание современное состояние геологии и минера-

[1] D. Colbertaldo.

логии. Работа Торнквиста составляет исключение из этого общего правила, но выводы и этого автора не могут быть приняты полностью, так как они основаны в большей своей части на изучении редких, составляющих исключение образцов, не отображающих нормальных минералогических типов месторождения.

Ввиду сказанного, а также принимая во внимание необходимость поисков новых рудных месторождений, главный директор Рудного управления Д. Ногара поручил мне произвести подробное исследование месторождения Райбл. Настоящий доклад представляет собой сводку наиболее важных результатов этого исследования, полный отчет о котором составляет главную часть моей монографии, посвященной описанию данного месторождения, один из разделов которой был доложен мною на 18-й сессии Международного геологического конгресса в Лондоне в 1948 г.

Геология района

В основу геологического и петрографического описания округа Райбл нами положена наша новая геологическая карта, частично воспроизведенная на схеме, изображенной на фиг. 71.

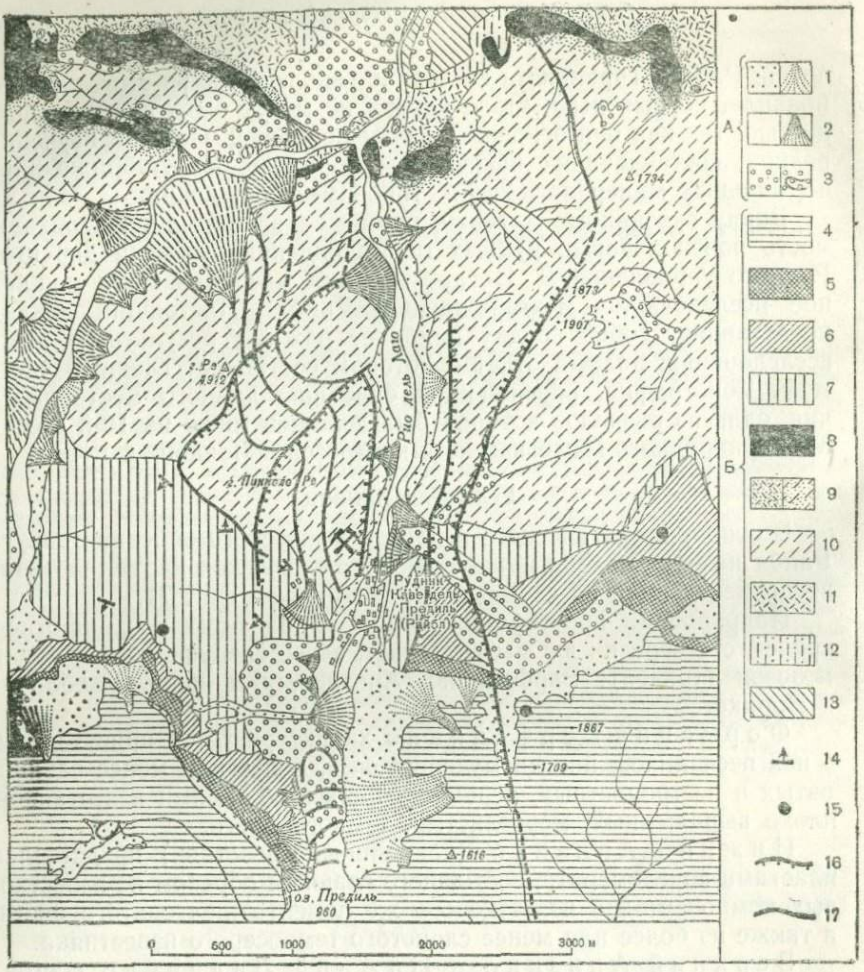
Направление простирания пород приблизительно широтное, причем с севера на юг мы встречаем здесь следующие формации мезозоя (триаса): Верфениано, Анизико, Ладинико, Райблиано и Норико.

Формация Верфениано характеризуется присутствием в ней песчаников, иногда мусковитовых, более или менее сланцеватых и пестроцветных, перемежающихся со слоями известняков, плохо выраженных, мергелистых, темного цвета.

Нижний Анизико (раковинный известняк) представлен пластами конгломерата, состоящего главным образом из известковых компонентов и известкового же цемента желтоватого цвета, а также из более или менее слоистого темносерого известняка.

Верхний Анизико и Нижний Ладинико состоят из кварцевых песчаников, туфовых песчаников и порфировых плагиоклазовых туфов от розово-красного до голубовато-зеленого и темнозеленого цвета; красного и черного порфиритового туфогенного материала; слоистых известняков, большей частью со включениями пирита на поверхности; мергелистых слоистых известняков с тонкими прослоями песчанистого, сланцеватого черного материала. Этим образованиям часто сопутствует в значительных количествах контактовая брекчия.

На основании петрографического и химического изучения туфов я пришел к выводу, что такие пирокластические породы могут быть отнесены к кристаллическим туфам с псевдопорфировой структурой; их главными составными частями являются плагиоклаз типа среднего андезина, сопровождаемый немногочисленными кристаллами кварца и остатками вулканических пород;



Фиг. 71. Геологическая карта района Райбл.

А Четвертичные отложения

1—наносы и осыпи; *2*—аллювий и аллювиальные конусы выноса; *3*—морены и моренные валы;

Б Триасовые отложения

4—Норико, слоистый „Главный доломит"; *5*—слои Карнико Тор (верхне-райблские); *6*—слои Карнико с *Megalodus Carinthiacus* (средний отдел верхне-райблских слоев); *7*—слои Карнико, слои Райбл Sensu strieto и ихтиолитовые слои (нижне-райблские слои); *8*—порфиры Рио Фреддо (различные фации); *9*—туфы и металлоносный доломит, контактово-метаморфизованные; *10*—верхние слои Ладинико, доломитовый известняк и массивный (металлоносный) доломит; *11*—верхние слои Ладинико, туфы, туфогенные песчаники и туфолавы; *12*—конгломераты и известняки (ракушечник) слоев Анзико; *13*—сланцеватые песчаники и известняки; *14*—элементы залегания слоев; *15*—месторождение фауны; *16*—главные линии смещения; *17*—сброс.

основную массу составляют либо нераспознаваемый фельзитовый материал, либо обломки аморфного лимонита с ориентированной, в общем, структурой. Туфогенные порфиритовые породы имеют те же главные составные части, что и туфы, с которыми они, несомненно, тесно связаны как по возрасту, так и по происхождению.

За только что описанным комплексом Бухенштейна следуют слои порфира мощностью 200—300 *м*, которым дано название Порфир Рио Фреддо по наименованию местности, в которой они достигают своего максимального развития. Они распределяются частично вдоль контакта между туфами и рудоносным доломитом верхнего Ладинико, а частично в самом рудоносном доломите.

Имеются различные разновидности порфиров Рио Фреддо, но, в общем, все они обладают довольно однородным минералогическим составом с основной массой из микрокристаллического кварцево-полевошпатового материала, иногда сменяющегося стекловатым. Эта масса составляет 60%; остальное приходится на фенокристы ортоклаза и плагиоклаза. Кварц в виде фенокрист здесь не встречается, а сопутствующие и второстепенные минералы крайне немногочисленны.

Поскольку порфиры вызвали значительный метаморфизм окружающих пород — рудоносных доломитов и бухштейновых туфов, вследствие термического действия и пересечения небольшими жильными инъекциями магмы, я отношу порфиры Рио Фреддо ко времени после-Ладинико.

Верхний Ладинико представляет собой вышеупомянутый рудоносный доломит, образующий горы Ре и Чинкве Пунте. Эта формация имеет массивный характер. Отсутствие в ней ископаемых и многочисленные пересекающие ее трещины и сбросы свидетельствуют о том, что здесь имели место интенсивные динамические изменения.

Свинцово-цинковое месторождение Райбл находится в рудоносном доломите горы Пикколо Ре (группа горы Ре).

За рудоносным доломитом следует формация Райблиано. Основание ее сложено ихтиолитными пластами (мергелистые битуминозные, иногда сланцеватые известняки с *Woltzia raiblensis, Pholidopleurus Typus, Belonorynchus striolatus, Protachyceras Basileus,* кораллами, *Cidarids* и пр.). Средняя ее часть состоит из слоев собственно Райбл (мергели и мергелистые известняки с *Miophoria Kefersteini* и доломитовые известняки с *Megolodus Carinthiacus*), а нижняя — из слоев Тор (мергелистые известняки с *Corbula Rosthorni,* доломитовые известняки с *Megalodus Carinthiacus* и кремнистые доломиты).

За формацией Райблиано идет в правильной стратиграфической последовательности Главный доломит Норико, со слабо выраженной слоистостью и местами содержащий ископаемые (*Gyroporella Vesiculifera,* Gümb.).

Тектоника округа и месторождения

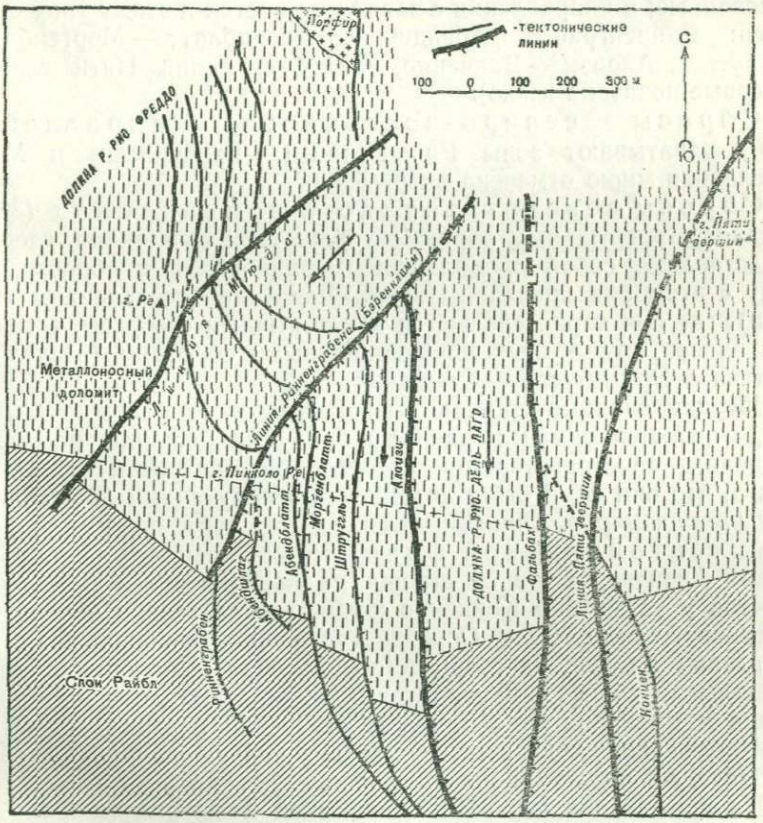
Наиболее важной тектонической чертой округа является то, что он представляет собой южное крыло широкой синклинали, протягивающейся от Вал Канале до Вал Резна. Породы простираются почти в широтном направлении, со средним падением около 30° на юг. Им охватывается свита триасовых пластов от Верфенцано до Норико. В этой относительно мало нарушенной области с однородным падением проявляются все же линии дислокаций, затрагивающие главным образом рудоносный доломит, Райблиано и Главный доломит; они расположены перпендикулярно к оси складчатости, а потому идут в почти меридиональном направлении и имеют крутое падение. Сбросовые блоки рудоносного доломита, отделенные меридиональными сбросами и простирающиеся к югу, очень сильно смяли формацию Райблиано на контакте с ними, а потому она оказалась зажатой между рудоносным доломитом, двигавшимся с севера, и доломитовым кряжем Норико на юге. Одна из двух главнейших линий дислокации проходит через долину Рио дель Лаго (сброс Алоизи в месторождении), другая идет к западу от Чима деи Каччиатори. Этим двум главным нарушениям сопутствуют серии сбросов и трещин второстепенного значения, но превративших гору Пяти вершин (*Cinque Punte*) и гору Ре в истинный хаос трещин.

Что касается возраста этих нарушений, то я согласен с гипотезой, высказанной Винклером, согласно которой сбросы Райбл представляют собой очень молодые движения, повидимому, не имеющие ничего общего с образованием первоначальных складок. Они должны быть отнесены ко времени между концом олигоцена и началом миоцена.

Тектоника месторождения Райбл, однако, значительно сложнее и может быть реконструирована только при помощи очень точного картирования сбросов и трещин, встречающихся как на поверхности, так и под землей, причем это картирование должно всегда сопровождаться микроскопическим изучением ассоциированных с ними минералов.

Само месторождение залегает в треугольном сбросовом блоке (см. фиг. 72) рудоносного доломита, слагающего гору Пикколо Ре, на левой стороне Валле ди Рио дель Лаго, близ высоты, называемой Каве дель Предиль. Этот треугольный блок, сильно смятый и разбитый, своим самым острым углом обращен на север. Западная сторона блока, отмеченная линией Риненграбен — Бэренкламм, отделяет его от рудоносного доломита горы Большой Ре. Его восточная сторона, отмеченная большим сбросом Алоизи, отделяет его от долины Рио дель Лаго. Его основание, рассеченное многочисленными смещениями, лежит на контакте с более или менее сланцеватыми ихтиолитовыми пластами Райблиано.

К востоку от сброса Алоизи, на противоположном склоне Валлата, находится второй, параллельный ему, большой сброс — Фальбах; в нем мы видим последние следы руд, открытых здесь до настоящего времени. Оруденение распространяется на несколько сотен метров и в ихтиолитовые пласты в направлении на



Фиг. 72. Структурная карта района Райбл.

юг и юго-восток, но достоверных доказательств присутствия руд за пределами описанного блока, имеющего не более 2,5 *км* в длину и 1400 *м* в ширину, мы нигде не встречали.

Основной тектонической чертой этой небольшой минерализованной зоны является род грабена — долина Рио дель Лаго, зажатая между двумя горстами, — горы Ре и горы Пяти вершин. Морфология блоков горы Ре, Пикколо Ре и Пяти вершин с их большими ступенями показывает, что здесь происходило постепен-

ное опускание различных блоков, отделенных меридиональными сбросами при их смещении к югу.

Сбросы и трещины в группе гор Ре и Пяти вершин чрезвычайно многочисленны, но все они могут быть подразделены на три основные группы:

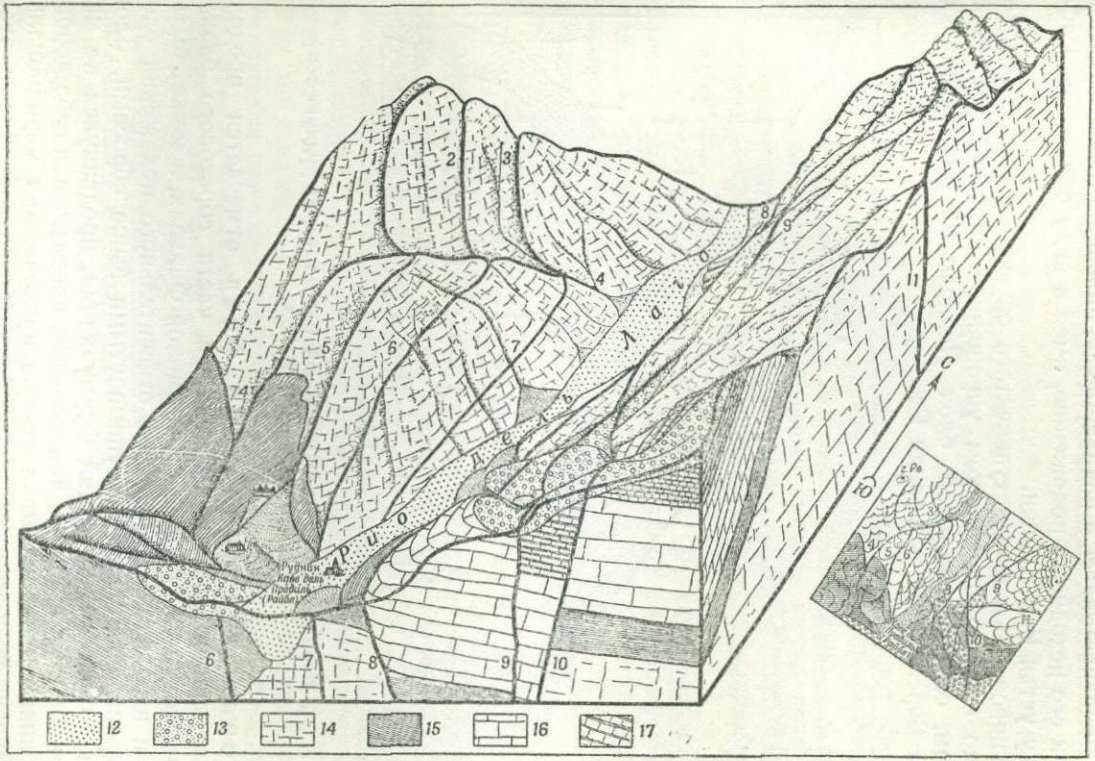
Меридиональные сбросы — большей частью минерализованные; в направлении с запада на восток к этому типу относятся: Ринненграбен, Абендшлаг, Абендблатт — Моргенблатт, Штруггль, Алоизи — Винченцо, Фальбах, линия Пяти вершин (впервые показана мною).

Сбросы северо-восточного направления (30°) охватывают зоны Ринненграбен — Бэренкламм и Муда (последняя мною отмечена впервые).

Сбросы северо-западного направления (325°) локализуются главным образом в формации Райблиано, где они представляют собой продолжение меридиональных сбросов, наряду с этим они проявлены вдоль Фальбаха (исследованы Луссари), где они характеризуются как нормальные сбросы, а также и в блоках, отделенных меридиональными сбросами (Микели — Маттиа — Эрцмиттель — Остшлаг).

Меридиональные сбросы, вызвавшие самые большие смещения, считаются самыми ранними ввиду их больших размеров, величины пространства, на котором они встречаются, и того факта, что они сами были нарушены последующими движениями меньших размеров. Они относятся, по моей терминологии, к первой тектонической фазе месторождения Райбл. Смещение Алоизи, считая от выхода на поверхность ихтиолитовых пластов у устья Рио Конценто южного края горы Пикколо Ре, составляет около 800 *м*. Основное движение, происшедшее в направлении Алоизи, благоприятствовало образованию ряда меридиональных сбросов, параллельных линии максимального нарушения и имеющих относительные смещения порядка 35—60 *м*. К этому периоду относятся сбросы Штруггль, Абендблатт — Моргенблатт, Абендшлаг и Ринненграбен.

На протяжении первой тектонической фазы разлом Фальбах, должно быть, существовал в виде одной только простой трещины, как мне это удалось установить на основании минералогического изучения. Блоки, отделенные меридиональными сбросами, передвигались на юг с наклоном направления движения в 30—35°, как об этом можно судить по бороздам на их поверхности. Поскольку общие смещения постепенно уменьшаются в направлении от Алоизи (800 *м*) к Абендшлаг (200 *м*), то становится ясным, что эти блоки, двигаясь по одинаково наклоненным плоскостям, опускались каждый в отдельности, пропорционально общему смещению; это и является причиной своеобразной крупноступенчатой морфологии восточного склона горы

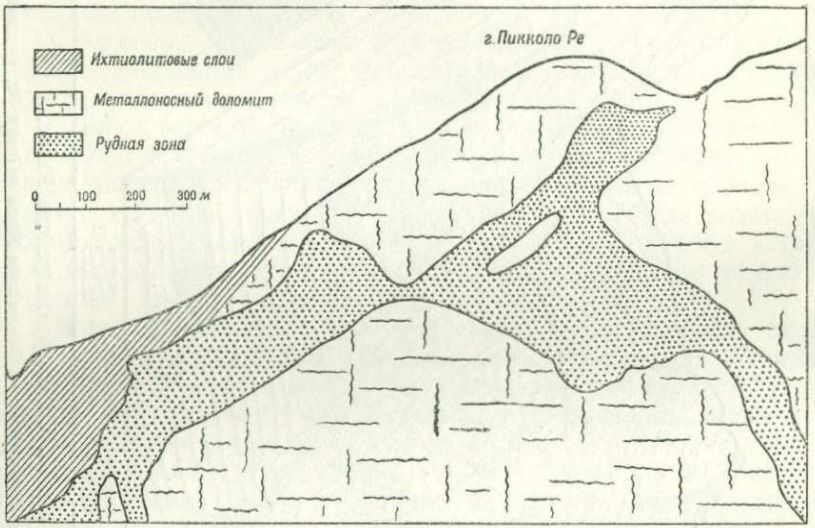


Фиг. 73. Стереограмма района Райбл.

1, 2, 3—меридиональные сбросы, смещенные подвижкой Бэренкламм Мюда на гору Ре; *4*—линия Риненграбен—Бэренкламм; *5*—система Абендблатт—Моргенблатт; *6*—сброс Шруггль; *7*—сброс Алоизи; *8*—сброс Фальбах; *9*—линия г. Пять вершин; *10*—сброс Концен; *11*—сброс Рио Вьеконеро; *12*—аллювий; *13*—морены; *14*—металлоносный доломит (верхнеладинские слои); *15*—слои Райбл; *16*—известняки с *Megalodus Carinthiacus*; *17*—слои Тор.

Пикколо Ре и Гранде Ре, к северу от Бэренкламма (фиг. 73). Под общим смещением здесь я подразумеваю смещение блока по отношению к его исходному положению, имея в виду обнажение Райблиано у устья Рио Концен.

Это новое объяснение ступенчатого опускания горы Пикколо Ре резко отлично от слишком упрощенной картины, даваемой Крауссом, согласно которой блок Пикколо Ре был ограничен сбросом Бэренкламм от Гранде Ре.



Фиг. 74. Меридиональный вертикальный разрез через рудную зону месторождения Райбл.

Вторая тектоническая фаза отмечается продолжением меридиональных движений в части сбросового блока, находящегося между Алоизи и трещиной Фальбах, а может быть, также и небольшим изменением относительного положения блоков, ограниченных другими упомянутыми выше сбросами. Блок Алоизи — Фальбах, имеющий форму клина, продвинулся не менее чем на 500 *м* в южном направлении, прокладывая себе дорогу в Райблиано и опрокидывая южные продолжения меридиональных сбросов, возникших в первую фазу (более подробно об этом см. в упомянутой выше монографии). После 500-метрового смещения к югу произошло опускание области, находящейся между сбросом Фальбах, зоной Пяти вершин и сбросом Концен; амплитуда этого погружения составила 80—90 *м*, так что ихтиолитовые пласты основания Райблиано оказались контактирующими с известняками *Megalodus* среднего и верхнего Райблиано.

Теперь мы подходим к третьей тектонической фазе, являющейся прямым продолжением второй фазы. Сдвиги, имевшие место в это время к северо-западу от горы Пикколо Ре, получили направление северо-восток 30°, причем вызвали образование двух зон нарушения Ринненграбен — Бэренкламм и Муда. Отделенный ими сбросовый блок был смещен на 150 *м* в направлении юго-запад 210°; борозды на его поверхности идут под углом в 5—10° в том же направлении.

Эти линии рассекли формацию Райблиано и переместили ее блоки вместе с отрезками крупных, более древних меридиональных сбросов, проходивших в формации Райблиано.

Побочное усилие действовало с севера к югу и изогнуло меридиональные сбросы — слабо в очень твердых доломитах горы Пикколо Ре и очень заметно в более пластичной формации Райблиано.

Юго-восточная часть блока Монте Ре, отрезанная сбросом Бэренкламм и эродированная жесткой известковой водой, оказывающей более сильное действие на брекчию, приняла форму изолированного купола, названного Пикколо Ре, в отличие от более высокой части массива, носящего название Гранде Ре.

Природа и классификация рудных месторождений

Месторождение Райбл может быть подразделено на две части, сильно отличающиеся друг от друга как своим минералогическим составом, так и происхождением. Основное, или первое, месторождение состоит из сульфидов (цинковая обманка, галенит, марказит и пирит). По своему качественному и количественному составу оно представляет самое крупное скопление руды в округе. Это месторождение образовалось вследствие гидротермального отложения при умеренной температуре из вод, вероятно, магматического происхождения. Второе месторождение подразделяется на верхнюю зону окислов, главным образом железа, и нижнюю зону, богатую карбонатами (смитсонит), а также основными карбонатами (гидроцинкит), наравне с другими второстепенными минералами (каламин, мелантерит, гипс, госларит, бианхит, англезит, церуссит, вульфенит и др.).

Оба месторождения связаны с особыми формами метасоматоза. Первичное месторождение образовано в результате воздействия гидротермальных магнезиальных вод на окружающие известковые породы, обусловив, с одной стороны, образование доломитового материала, а с другой, вследствие растворения кальция — крупных пустот, в которых отложились полезные минералы. Наряду с метасоматозом, обусловленным двойными реакциями разложения, в этом случае имел место процесс замещения известняка.

Вторичное же месторождение носит типично метасоматический характер; оно обусловлено двойными реакциями разложения между растворимыми солями (большей частью) свинца и цинка и окружающим известняком.

Первичная минерализация имеет форму столбов и жил. Столбы часто бывают крупных размеров, они образовались в местах пересечения главного сброса различными трещинами. Там, где не было второстепенных трещин, минерализация шла вдоль сброса и образовывала жилы; таким образом, наблюдающиеся в месторождении Райбл столбчатый и жильный типы оруденения должны рассматриваться как два различных следствия тектонического развития.

Рудные тела, находящиеся в главных меридиональных сбросах, соединяются друг с другом посредством второстепенных сбросов и трещин. На основании целого ряда тектонико-минералогических наблюдений имеются достаточные основания для утверждения, что растворы, которые принесли с собой металлы, относились к растворам восходящего типа.

Основное месторождение Райбл может быть поэтому определено как месторождение замещения в известняке, мезотермального, апомагматического типа, имеющее форму тесно взаимосвязанных столбов и жил.

Минералы первичного месторождения

В первичном месторождении Райбл встречаются следующие минералы, которые мы приводим в порядке убывающего их содержания:

Полезные минералы. Красная и желтая (аморфная) цинковая обманка; черная, серая и розовая (кристаллическая) цинковая обманка. Галенит, марказит, пирит, пирротин (довольно редко), арсенопирит (наблюдался Торнквистом), киноварь (по Крауссу).

Жильные минералы. Доломит, барит, флюорит (редко).

Цинковая обманка. Я различаю следующие пять ее разновидностей: красная, желтая, черная, серая и розовая. Красная разновидность занимает весь северный сектор месторождения, а желтая — всю южную его часть. Черная, серая и розовая разновидности, принадлежат к одному типу, который я называю кристаллической цинковой обманкой — они локализуются в зоне контакта со сланцами. Красная цинковая обманка достигает своей максимальной концентрации в рудном теле Фрауенштоллен (северное ответвление Моргенблатта). Но местами она встречается также и в южной части месторождения, особенно в глубокозалегающих его частях (вдоль системы Штруггль, на 12, 14 и 15 горизонтах Клара), где в некоторых зонах пласта (Колонна Принчипале) ей сопутствует желтая цинковая обманка.

Красная цинковая обманка характеризуется конкреционным сложением и цветом, от темнокрасного до фиолетового, в зависимости от большего или меньшего количества сопутствующего марказита. В результате явлений, имевших место после ее отложения и сопровождавшихся проявлением большого количества доломита, образовались прекрасные брекчиевые структуры, в которых куски красной обманки сцементированы белым доломитом.

При исследовании красной обманки под микроскопом было установлено, что она аморфна [1] и обладает отражательной способностью, лишь немного меньшей, чем наблюдаемая у желтой обманки. Своей конкреционной структурой она напоминает восточный алебастр. Вокруг ранее существовавших ядер галенита и желтой обманки, частично резорбированных, отложился тонкими концентрическими зонами красный сульфид цинка. В зонах, подвергшихся нарушению, красная обманка иногда приобретает своеобразную структуру, которую я называю мозаичной ввиду наличия в ней заметных трещин, которыми, однако, не нарушается основная кокардовая структура этого минерала; кое-где заметны признаки начинающегося катаклаза, так что фрагменты красной обманки оказываются вкрапленными в общую массу.

Желтая обманка в описываемом месторождении также хорошо развита; наибольшая концентрация ее наблюдается в Колонна Принчипале (система Абендблатт — Моргенблатт). При рассмотрении под микроскопом она имеет характерный смоляной вид при довольно бледной желтоватой окраске. Располагается она тонкими слоями, один над другим, фестонами, перемежаясь с тонкими слоями кристаллического галенита. Эти фестончатые структуры расположены вокруг ядер известняка, частично превращенного в доломит, образованием кокард различных размеров — от размера ореха до нескольких дециметров в поперечнике. В других случаях ядро этих кокард состоит из кусочка черной или серой обманки, так что они производят впечатление множества пуговиц, погруженных в белый доломит.

При рассмотрении желтой обманки под микроскопом видно, что она обладает характерной чешуйчатой структурой. При скрещенных николях ее бурая окраска ясно проявляется, переливаясь всеми оттенками оранжево-желтого цвета; как правило, она не обладает кристаллическими формами и структурами, а потому аморфна.

Изучение взаимоотношений между желтой и красной обманками показало, что желтая цинковая обманка образовалась ранее

---

[1] Поскольку автор не указывает, производилось ли структурное травление, вывод об аморфной природе сфалерита, основанный только на отсутствии хорошо выраженных кристаллов, здесь и в дальнейшем остается недоказанным. (*Прим. ред.*)

красной; это подтверждается тем, что красная цинковая обманка отлагается вокруг ядер желтой, частично резорбированной. В этих случаях первичная структура, характеризующаяся порядком галенит — обманка — пирит, заменяется кристаллобластическими структурами.

Распространение кристаллической обманки в ее трех разновидностях — черной, серой и розовой — ограничивается зонами контакта со сланцами. Черная форма — блестящая, смолистая, серая — походит на известняк того же цвета, а розовую можно отличить от пустой породы только при помощи микроскопа.

Разновидность, которая на месте носит название черной цинковой обманки, при рассмотрении ее под микроскопом оказывается состоящей из мелких кусочков черного битуминозного доломита, в который вкраплены в очень большом числе мелкие кристаллы цинковой обманки. Эти кристаллы обманки имеют форму тетраэдров, они светлотопазового цвета, прозрачны и блестящи и распределяются либо равномерно, либо образуют группы. В редких случаях мне удалось наблюдать сочетание двух тетраэдров с кубом.

Куски черного доломита с кристаллической цинковой обманкой сцементированы маленькими жилками белого доломита с примесью аморфной желтой обманки. Края обломков обнаруживают признаки начинающейся резорбции цементирующим доломитом.

Серая и розовая цинковые обманки являются не чем иным, как отдельными разновидностями черной обманки, с той лишь разницей, что жильная порода своей разновидности меньше пигментирована черным, а порода розовой, по всей вероятности, обязана своей окраской присутствующей в ней в виде следов окиси железа.

В руде главного рудного столба (Колонна Принчипале) и на некотором расстоянии от зоны контактовых сланцев я встретил кокарды желтой цинковой обманки с ядрами черной, серой или розовой цинковых обманок. Принимая во внимание это наблюдение, а также наблюдение, упомянутое выше, согласно которому куски черной обманки иногда сцементированы белым доломитом, содержащим аморфную желтую цинковую обманку, можно сделать вывод, что появление кристаллической желтой цинковой обманки предшествовало появлению всех остальных ее видов.

Минералами, сопутствующими кристаллической цинковой обманке, являются пирит в кубической форме и галенит в виде зерен.

Подводя итоги, можно сказать, что отложение сульфида цинка прошло через три последовательные фазы: 1) отложение кристаллической цинковой обманки (в южной зоне на контакте со

сланцами и в самих стадиях); 2) отложение аморфной желтой цинковой обманки (главным образом в центральной зоне); 3) отложение красной цинковой обманки (главным образом в северной зоне).

Эта моя схема дополняет и изменяет ранее предложенную Торнквистом схему. Этот автор обосновывает присутствие третьей формы — кристаллической обманки — на результатах изучения одного-единственного образца из Себастиани Барбара-Шлаг, образца, который следует рассматривать как исключение, так как он не отвечает ни одной из фаций нормального развития данного месторождения. В то же время выделенная мною желтая цинковая обманка представляет собой наравне с красной одну из основных составных частей оруденения.

Галенит. Галенит всегда сопровождает цинковую обманку, причем в большинстве случаев встречается в виде кристаллов определенной формы. Кристаллические формы, которые могут быть определены под микроскопом, — куб, октаэдр и сочетание куба с октаэдром. Когда галенит ассоциируется с красной цинковой обманкой, он обычно образует ядро кокарды и бывает частично резорбированным. Под микроскопом галенит представляется в виде мелких кристаллов и зернистых агрегатов, более или менее кристаллических. Полированные поверхности обнаруживают многочисленные треугольные образования, расположенные вдоль главного катета (оси?).

Весьма интересное явление замещения галенита доломитом было мною впервые отмечено в месторождении Райбл. Доломит, сопутствующий руде, — кристаллический и обладает обычной мозаичной структурой; но кое-где в него вкраплены треугольные образования черного цвета, видимые при параллельных николях. По своей форме и расположению эти треугольные образования обнаруживают характерные общеизвестные формы галенита, а потому я полагаю, что они принадлежат к первичному галениту, который был полностью замещен доломитом.

Резорбция галенита цинковой обманкой и доломитом, несомненно, была интенсивной, поскольку существующее отношение содержания галенита к содержанию обманки снизилось до 2 : 8. Тем не менее вопрос о месте его нахождения в месторождении, в которое он мигрировал, остается неразрешенным, так как даже во вторичном месторождении галенит и продукты его замещения — церуссит и англезит — встречаются здесь только в количествах подчиненного значения.

Исходя из того, что галенит обычно образует ядра кокард, в которых он находится в большей или меньшей степени в резорбированном состоянии, надо признать, что он является здесь первым отложенным минералом.

Марказит. Этот широко распространенный минерал ассоциирует почти исключительно с красной цинковой обманкой. Он обладает конкреционной, сосцевидной текстурой и радиальной кристаллической структурой. В отраженном свете марказит обнаруживает яркую металлическую желтую окраску и высокую отражательную способность, а также плеохроизм от желтого до синего. На срезах образцов руды из Удо (Штруггль) я обнаружил образования, которые, вероятно, представляют собой бесформенные массы марказита в виде округлых выделений с концентрическим сложением. Марказит является минералом, обычно возникающим в результате замещения или галенита или красной и желтой цинковой обманки, ввиду чего его следует рассматривать как последний минерал в парагенетическом ряду.

Пирит, пирротин, халькопирит и киноварь. Эти минералы встречаются только в незначительных количествах и притом редко.

Жильные минералы

Доломит. Жильной породой, сопутствующей руде, является повсеместно белый кристаллический доломит, который в сланцеватой зоне контакта переходит в черную разновидность, что обусловлено присутствием битума. Его образование связано с метасоматическим процессом взаимодействия между магнезиальными растворами и окружающими известковыми породами.

На черный доломит в сланцеватой контактовой зоне первым обратил внимание автор настоящей статьи. Этот доломит часто сопровождается кристаллической цинковой обманкой и, по всей вероятности, возник в результате действия гидротермальных магнезиальных вод на расположенные вблизи битуминозные известняки формации Райблиано. Поэтому, в противоположность белому доломиту, он содержит некоторое количество кремния, железа и немного битума, который сообщает ему черную окраску.

В месторождении Райбл я различаю следующие виды доломита, в последовательности их образования: 1) черный, серый или розовый доломит, ассоциированный с кристаллической цинковой обманкой; 2) белый доломит, ассоциированный с желтой цинковой обманкой; 3) белый доломит, ассоциированный с красной цинковой обманкой; 4) белый пустой доломит.

Барит, флюорит. Барит местами встречается в центральной и южной зонах месторождения (Эрцмиттель, Маттна — Мичели) в виде кристаллических агрегатов, либо радиальных, либо трубковидных, ассоциированных с желтой цинковой обманкой или с га-

ленитом, но никогда не с марказитом. Флюорит здесь настолько редок, что я никогда не встречал его in situ в месторождении.

Развитие оруденения и его отношение к тектоническим фазам

Из только что приведенного описания отдельных минералов следует, что оруденение произошло в три гидротермальные фазы,

Таблица 25

Фазы оруденения и влияние тектоники на характер руд	Тектонические фазы
Первая фаза оруденения (кристаллическая цинковая обманка с галенитом и сопутствующий пирит) Слабое трещинообразование в руде, отложенной в начале первой фазы	Начало, Окончание } Первая тектоническая фаза
Вторая фаза оруденения { Первая формация (желтая цинковая обманка, галенит, пирит и сопутствующий марказит) Вторая формация (красная цинковая обманка с небольшой примесью галенита и марказита)	Пауза
Нарушение руды в Алоизи, Фальбахе и Штруггле, крайний юг	Вторая тектоническая фаза
Третья фаза пустого доломита (рудная брекчия, значительные катакластические явления в Абендшлаге, Бэренкламме, Фрауенштоллене и др. с вероятным удалением части руды из ее первоначального местонахождения)	Третья тектоническая фаза

из которых вторая включала в себя последовательное образование цинковой обманки (желтой и красной), а третья — образование пустого доломита. Рамки настоящего доклада лишают меня возможности дать подробное описание процесса оруденения; желающих познакомиться с ним отсылаю к моей уже упоминавшейся выше работе, здесь же я ограничусь приведением сводки полученных мною результатов в табл. 25.

Гипотезы о происхождении гидротермальных растворов и возрасте месторождения

Уже Краусс считал возможным существование некоторой связи между тектоническими явлениями в округе Райбл, извержением порфиров Рио Фреддо и минерализацией месторождения. Им была выдвинута гипотеза, согласно которой гидротермальные растворы, обусловившие отложение руды, произошли из порфировой магмы и поднялись к дневной поверхности, проложив себе путь через сланцы на контакте и через крупные меридиональные трещины.

Этот взгляд был поддержан Торнквистом, который счел, однако, необходимым внести некоторые оговорки. Он сделал свои окончательные выводы на основании изучения рудных месторождений Восточных Альп.

С гипотезой, предложенной этими авторами для объяснения происхождения гидротермальных растворов, можно было бы согласиться, если признать, что порфиры, сбросы и оруденение в месторождении Райбл имеют один и тот же возраст.

В процессе моих исследований было установлено, что единственными местными проявлениями вулканической деятельности здесь являются порфиритовые породы и порфиры, образование которых относится соответственно к Ладиникскому и пост-Ладиникскому времени. Если образование месторождения приписать этим проявлениям, то это означало бы, что ему был бы придан слишком древний возраст по отношению к основным тектоническим зонам, с которыми оно тесно связано. С другой стороны, нет доказательств существования прямой генетической зависимости рудоносных растворов от порфиров или порфиритовых пород, а, кроме того, большие размеры оруденения совершенно не соответствуют относительно малому количеству порфирового материала.

Необходимо помнить, что оруденение по своей природе относится к мезотермальному апомагматическому типу или даже к телемагматическому. Перимагматические проявления здесь либо отсутствуют вовсе, либо, в лучшем случае, представлены следами вторичных минералов недостоверного происхождения. Я считаю поэтому, что более рациональна предлагаемая ниже гипотеза, согласно которой источник минерализации был тут связан с более глубоко залегающей магматической массой. Это не исключает возможности, что порфировые породы и порфиры этой области могли быть первыми, более древними, внешними проявлениями той же самой магматической массы.

Такая гипотеза согласуется с геолого-тектонической теорией, развиваемой Г. Пиац, относительно возможности существования крупного глубинного батолита третичного периода, которым

обусловлены все разнообразные интрузивные синтектонические проявления пери-адриатической Альпийской дуги, представленные массивами Адамелло, Ивинья, Брессаноне, Ведретте ди Риес, — массивами, возраст которых восходит, по мнению того же автора, к перерыву между олигоценом и миоценом.

Эта гипотеза совпадает и с нарисованной мною подробной тектонической картиной месторождения Райбл; она рассматривает явления более широко и охватывает не только оруденение Райбл, но также и другие рудные проявления Восточных и Южных Альп. На основании всех этих наблюдений время образования месторождения Райбл должно быть отнесено к периоду между концом олигоцена и началом миоцена. Поэтому гипотеза Торнквиста, поскольку она относит оруденение Райбл к неоплиоцену, не может быть принята.

Установление новых рудных горизонтов в месторождении Райбл

Добыча галенита и цинковой обманки на протяжении ряда столетий, большие пустые забои и пространства, заполненные пустой породой вдоль главных наиболее богатых рудой частей месторождения, показывают, насколько велико было здесь количество первоначально отложенного материала, извлекавшегося вплоть до наших дней. С другой стороны, сложная тектоника местности, окончание руды у естественного барьера Бэренкламм и ее фактическая локализация в Пикколо Ре, различные, часто противоречивые высказывания ученых и технических экспертов в отношении сдвигов, имевших здесь место, а также формы минерализации (отложение желтой цинковой обманки восходящими растворами и красной — нисходящими) — все это служит доказательством тех больших трудностей, с которыми приходится встречаться всякому, кто берет на себя деликатную и не всегда достаточно ясную задачу произведения новых исследований.

Моя новая тектонико-минералогическая интерпретация условий месторождения Райбл открывает в этом отношении более широкие перспективы и стимулирует поиски в зонах, лежащих за пределами уже известной площади оруденения. К числу этих зон относятся:

1) Зона контактовых сланцев, от Ринненграбена до Фальбаха, где были проведены различные исследования, давшие уже положительные результаты.

2) Зона, расположенная к северу от Бэренкламма. Минералогическое исследование выяснило, что оруденение в меридиональных сбросах произошло ранее смещения по сбросу Бэренкламм; это дает основание считать желательным проведение поисковых работ к северу от этого нарушения, которое до настоящего времени принимали за северную границу месторождения.

3) Восточная зона месторождения. До настоящего времени эта зона считалась бедной минералами, но возможно, что на большей глубине и в направлении к востоку от Фальбаха тут могут оказаться большие концентрации руды.

4) Центральная зона месторождения. Часть месторождения, расположенная между 12 горизонтом Клара (—201 *м*) и горизонтом Андреа (+450 *м*), находится на пути к истощению, правда, пока в отдаленном времени, но которое все же и сейчас уже можно предвидеть. Ниже же 12 горизонта южная зона месторождения, подстилающая известные уже в настоящее время рудные тела, остается еще совершенно неразведанной, и имеются все основания для предположения, что в ней могут находиться большие концентрации руд.

На основании всего комплекса данных, полученных при моих исследованиях, я считаю, что месторождение Райбл и сейчас еще обладает запасами цинка и свинца, достаточными для того, чтобы обеспечить еще на долгое время его производительность.

ДИСКУССИЯ

К. Дэнхем поздравляет автора по поводу его доклада и благодарит компанию Райбл за представление его. Он спрашивает, ассоциировался ли пирротин исключительно с кристаллической цинковой обманкой, или он встречался также с «blenda rossa» (жилковатой цинковой обманкой).

П. Эврар сообщает данные, собранные им во время исследования свинцово-цинковых месторождений в долинах рек Маас и Вездр (Бельгия). Изучение полированных шлифов подтвердило правильность гипотезы об одновременной кристаллизации жилковатой цинковой обманки, галенита и марказита. Дендритовые текстуры галенита, окруженные колломорфной цинковой обманкой бурого или желтого цвета, образовались не в результате замещения или резорбции одного сульфида другим.

Оруденение является результатом кристаллизации в открытых трещинах из гидротермальных низкотемпературных растворов (телетермальные месторождения).

Спектрографическое исследование показало, что редкие элементы, ассоциированные с сульфидами, бывают различными в зависимости от минерала, который их в себе содержит; это явление может быть объяснено селективной абсорбцией элементов гидротермального раствора во время кристаллизации цинковой обманки, галенита и марказита.

ЮГОСЛАВИЯ

К. ФОРГАН [1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ СТАНТРГ

Краткое содержание

Рудные месторождения района Стантрг залегают в известняке серии пород, относимой к ордовичско-силурийскому возрасту. Эта серия подверглась действию мощных орогенических движений третичного времени. Серия интрудирована андезитовыми иррупгивами третичного возраста. Рудные тела расположены вокруг «трубы», выполненной дацитом (в центре) и брекчией (на периферии). Положение рудных тел контролируется контактами между брекчией и известняком и кристаллическим сланцем. Руда представляет собой грубые агрегаты галенита, сфалерита, пирита и пирротина с серебром, висмутом и золотом. Жильные минералы — главным образом кварц и карбонаты, но на верхних горизонтах вблизи «трубы» присутствуют скарновые силикаты.

Введение

Местоположение. Стантргское свинцово-цинковое месторождение находится в Южной Югославии, вблизи города Косовская Митровица, на реке Ибар, приблизительно в 300 *км* к югу от Белграда. Рудник расположен в небольшой боковой долине, известной под названием Трепча, на расстоянии около 6 *км* от города.

Это месторождение является самым крупным из нескольких свинцово-цинковых проявлений, разведовавшихся и эксплоатировавшихся перед войной компанией рудников Трепча, в пределах полосы, простирающейся примерно на 200 *км* в длину и имеющей 30 *км* ширины.

Исторические данные. Горнорудное дело в этой части Балкан велось еще со времен римского владычества, когда внимание привлекали главным образом небольшие золотые месторождения страны. В течение последующего Византийского периода деятельность римлян сошла на нет. Горные работы возобновились в начале XIII столетия, но прекратились опять после завоевания Балканского полуострова турками 200 лет спустя. Эксплоатация месторождений цветных металлов в течение этого периода стимулировалась саксонскими общинами, которые при славянском режиме пользовались особыми привилегиями; остатки их

---

[1] C. B. Forgan, главный геолог компании Trepca Mines Limited.

работ в значительной мере содействовали современным поисковым работам. Стантргское месторождение оставалось нетронутым до 1925 г., когда рекогносцировочная партия начала на нем работы.

В результате поисков в районе средневековых выработок было найдено крупное месторождение свинцово-цинковых



Фиг. 75. Местоположение рудника Стантрг.

сульфидных руд, и после некоторого периода времени, посвященного детальной разведке, рудник был снабжен необходимым оборудованием и в 1930 г. вступил в эксплоатацию. В течение последующего десятилетия работы развертывались, и за несколько лет до итальянско-немецкой оккупации, в апреле 1941 г., добыча руды составляла 600 000—700 000 *т* ежегодно.

Продукция рудника (статистические данные). Рудное тело представляет собой метасоматическое образование в известняках

и состоит главным образом из смеси сульфидов: серебросодержащего галенита, цинковой обманки, пирита и пирротина. Обогащение методом селективной флотации дает свинцовый, цинковый и пиритовый концентраты и небольшое количество смешанного медно-свинцового концентрата.

С самого начала обогащения в сентябре 1930 г. до октября 1940 г. добытая руда составляла 5 774 000 *т* при 625 000 *т* свинцового концентрата, 685 700 *т* цинкового концентрата и 444 000 *т* пиритового.

В октябре 1940 г. достоверные запасы составляли приблизительно 5 000 000 *т* руды с содержанием свинца 6,6%, цинка — 3,8% и серебра — 114,2 *г/т*. Эти цифры запасов не учитывают значительного продолжения рудного тела на глубину, установленного алмазным бурением.

Таблица 26

ЦИФРЫ ДОБЫЧИ (В ТОННАХ)
с 1936 до 1940 г.

Годы	Руда	Свинцовые концентраты	Цинковые концентраты	Пиритовые концентраты
1936—1937	655 463	70 486	69 863	70 851
1937—1938	670 666	72 989	70 120	100 027
1938—1939	632 867	65 561	53 182	85 072
1939—1940	711 307	73 803	44 100	74 964

Таблица 27

СРЕДНИЕ ПРОБЫ РАЗЛИЧНЫХ ПРОДУКТОВ
за 1939—1940 гг.

Руда	S, %	Pb, %	Zn, %	Fe, %	Ag, *г/т*	Cu, %	Нерастворимый остаток, %
Руда	—	8,64	3,68	35,04	3,93	0,20	11,92
Свинцовые концентраты . .	—	79,4	0,3	3,6	34,4	—	0,36
Цинковые концентраты . .	—	0,4	49,8	13,2	0,4	—	1,35
Пиритовые концентраты . .	49,1	0,16	0,9	46,3	0,3	0,13	1,26

Общая геологическая обстановка. Площадь, на которой залегает Стантргское месторождение, находится в широкой зоне нарушения, протягивающейся с северо-запада на юго-восток

через центральную часть Балканского полуострова. Региональное простирание структур совпадает с простиранием динарид; они ответвляются от главного Альпийского комплекса в северо-западной части Словенской провинции и следуют на юго-восток в направлении Салоникского залива. Структура осложняется взбросом и надвигом и тектонически может быть подразделена на несколько единиц, одной из которых является Копаоникский горный кряж, вмещающий многочисленные свинцово-цинковые и другие рудные месторождения. Копаоникский кряж и его продолжение на северо-запад и юго-восток, таким образом, отмечают металлогеническую зону, протягивающуюся на несколько сот километров.

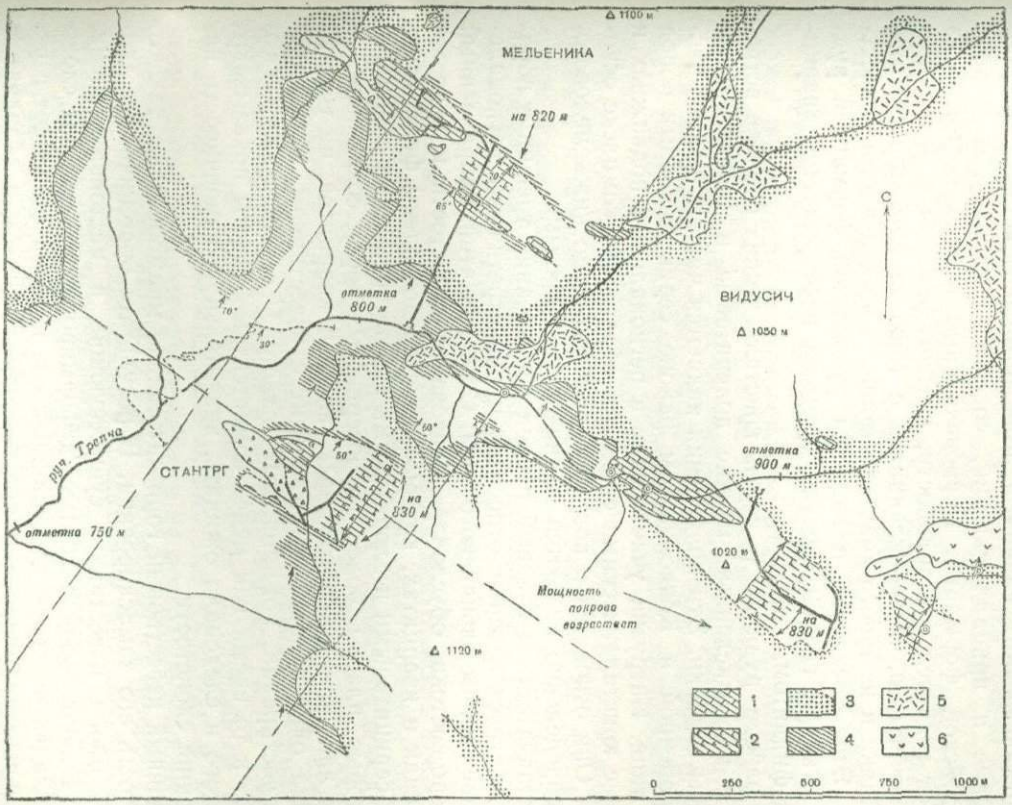
Возраст формаций этого пояса — от раннепалеозойского до третичного, но стратиграфический разрез в районе месторождения Стантрг далеко не полный.

Геологическое строение района схематично может быть представлено следующим образом: Копаоникский район состоит в его центральной части из древнепалеозойских пород, обрамляемых с востока и запада мезозойскими формациями. Массивные триасовые известняки и доломиты доминируют на северо-западе, в то время как юрские и меловые формации чаще отмечаются в Адриатическом прибрежном поясе. Эти формации были вовлечены в интенсивные орогенические движения альпийского типа и после денудации образовали основание, на котором покоятся третичные осадочные породы и огромные массы третичных вулканических и гипабиссальных пород. Крупные бассейны или впадины третичного периода способствовали накоплению озерных отложений, содержащих пласты промышленного лигнита. Одно такое месторождение, заключающее пласт или группу пластов до 40 *м* мощности, подстилает равнину Коссово в расстоянии около 30 *км* от Стантргского рудника; эта залежь успешно разрабатывается, обеспечивая все местные нужды в топливе.

Современный рельеф явился результатом регионального поднятия; центральная часть площади гориста и возвышается на 2000 *м* над дном долины, расположенной на высоте 500 *м* над уровнем моря. Озерные отложения теперь занимают отдельные впадины на плоскогорье.

Осадочные и изверженные формации

Стантргская серия. Главной формацией является Стантргская серия, состоящая из смятого и сложенного в складки комплекса кристаллических сланцев, филлитов, кварцитов и кристаллических известняков; последние, возможно, относятся к отложениям ордовик-силурийского возраста (что, однако, не вполне достоверно). Эти пласты в пределах минерализованного пояса не



Фиг. 76. Общая геологическая карта долины Трепча. Показано распространение известняков под туфовой серией.

1—известняки на поверхности; *2*—известняки на горизонте 830 *м*; *3*—туфы; *4*—сланцы; *5*—зеленокаменные породы; *6*—андезиты.

содержат ископаемых остатков, и их точная взаимосвязь с определенными площадями на севере Балканского полуострова еще не установлена. Однако отмеченная серия обнаруживает сходство с кристаллическими сланцами, имеющими региональное распространение и принадлежащими, согласно Коссмату, к древней палеозойской формации. Первоначальные осадки состояли из сланцев значительной мощности, крупнозернистых и аргиллитовых песчаников, перемежающихся с тонкими слоями нечистого известняка и из одного довольно мощного пласта чистого известняка. Этот последний и является рудоносной формацией рудника Стантрг, где он стратиграфически перекрывается кварцитом и филлитом.

В районе рудника в серии кристаллических сланцев встречаются многочисленные мелкие долеритовые и серпентиновые массивы и дайки. Эти проявления являются частью широко распространенной в Копаоникском районе серии основных пород этого типа. Интрузии участвовали в региональных подвижках и вместе с кристаллическими сланцами образовали комплекс основания. Они относятся к возрасту от юрского до нижнемелового, т. е. определенно являются доминерализационными.

Складчатость и главный период образования трещин в породах Стантргской серии относятся к раннетретичным региональным движениям альпийского типа. Стресс сжатия, направленный с северо-востока, обусловил образование слоистости и кливажа в сланцах и кварцитах, которые ныне представлены филлитами, кварц-серицитовыми и хлоритовыми кристаллическими сланцами. Некоторые пласты более грубозернистых пород сохранились в форме линз конгломератовидных галечных кварцитов; на участке рудника одна такая линза граничит с известняком. Региональное простирание компетентных пластов — северо-запад — юго-восток, в то время как менее компетентные пласты показывают, как этого и следовало ожидать, значительную изменчивость направления слоистости.

Главный известковый горизонт сильно мраморизован, так что слоистость его замаскирована. В результате орогенических движений блоки известняка, существующие в настоящее время, представляют собой разбитые, деформированные остатки сложной складчатой структуры, длинная ось которой совпадает с региональным направлением простирания. В смятом и складчатом известняке локализуются рудные тела замещения, и, кроме Стантргского месторождения, минерализация наблюдается также в других остатках известняков, залегающих в бортах долины Трепча и известных под названием известняков Мельеника и Мазик. Долина Трепча на восток — юго-восток от рудника Стантрг грубо следует направлению оси синклинали, которая составляет главную структурную единицу площади.

Серия кристаллических сланцев и известняков, подвергшаяся сильной складчатости и последующей денудации, образует основу рельефа, который в третичное время был покрыт горизонтальными пластами туфов и осадков. Речка Трепча и ее притоки пропилили эффузивный покров, вследствие чего обнажились рудоносные формации. Бóльшая часть известнякового пояса остается скрытой, но поиски, исходившие из предположения о продолжении известняков по всей синклинали, оказали значительную помощь в построении структурной гипотезы.

Туфовая серия. Эта группа наиболее молодых пород, считающаяся по возрасту миоценовой, покрывает более ранние породы и состоит из литоидных и кристаллических туфов, переслаивающихся со сланцами, песчаниками и конгломератами. Хотя эта серия в целом широко распространена и занимает бóльшую часть высот, тем не менее региональное распространение ее отдельных членов ограниченно.

В серию входят пирокластические агломераты, вулканические брекчии и конгломераты. Туфовая серия подверглась воздействию более поздних, уже слабых горообразовательных движений, вызвавших только легкий наклон пластов и растяжение, которое привело к образованию трещин.

Андезиты. Третичная вулканическая деятельность также привела к образованию серии андезитовых интрузивов и экструзивов, непосредственно предшествовавших отложению пород туфовой серии, а также сопровождавших его. Эта серия состоит из разнообразных пород кислого и промежуточного типа, представленных монцонит-порфирами, дацитами, трахиандезитами, роговообманковыми андезитами и другими типами пород. Происхождение иррупгивной серии связывается с глубинным очагом гранодиоритовой магмы, залегающим под складчатым комплексом района. Выходы гранодиоритов на поверхность проявляются в пределах Копаоникского хребта, несколько на северо-запад от рудника. Породы дацитового и трахитового типа сильно пропилитизированы; детализированная классификация и петрографическое изучение связанной с ними промежуточной свиты интрузивов и экструзивов еще дело будущего.

Наблюдаемая связь минерализации с андезитовыми иррупгивами говорит в пользу тесной генетической связи между рудными телами и магмой.

Минерализация района. В Копаоникском складчатом поясе и на его продолжениях широко проявлена минерализация, характеризующаяся развитием цинковой обманки, галенита, пирита, относящаяся к конечной фазе третичной вулканической

деятельности. Подобная минерализация имеет региональное распространение; она отмечена во всех описанных выше типах пород и проявляется во многих рудниках, проспекторских выработках и обнажениях. Намечаются следующие типы рудопроявлений:

1. Метасоматические рудные тела в известняке непосредственно на контакте с интрузиями андезитового типа; Стантргский рудник, Копаоникский рудник и рудник Ново Брдо.

2. Импреньяции, метасоматические тела и неправильные жилы в известняках, перекрываемых туфами, с андезитовыми некками или вблизи них — проспекторские выработки Мельеника и Мазик.

3. Заполнения трещин в долерите, серпентините или вдоль контактов между ними — Яньево, Рогозна и Трепча.

4. Заполнения трещин в туфах или генетически связанных с ними осадочных породах — долины Трепча и Видусик.

5. Заполнения трещин в некках андезитового типа — группа жил Злетово, Рудника.

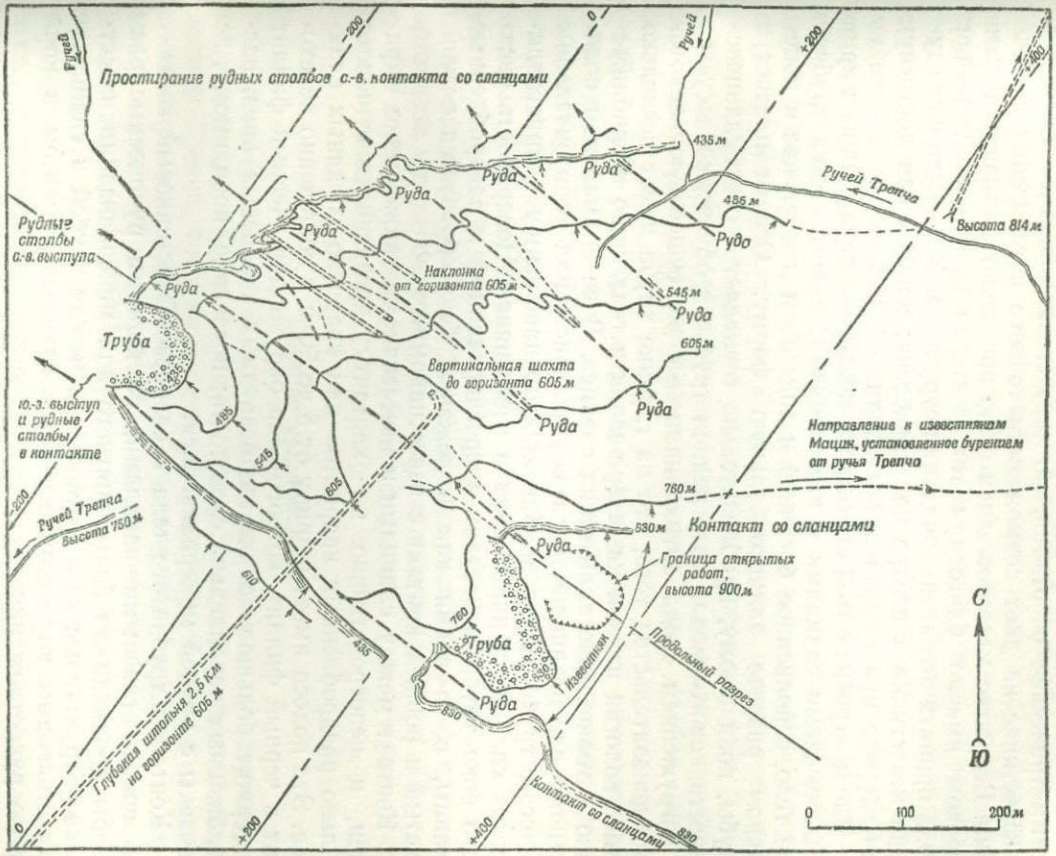
6. Линзообразные тела в кристаллических сланцах — Яньево, Айвалья.

Отсюда видно, что минерализация имела очень широкое распространение и происходила вдоль контактов между всеми типами пород и выразилась также в заполнении трещин и разломов, образованных в результате ранних и третичных региональных движений. Однако промышленная рудная минерализация связана с замещениями и вкрапленностью в известняках и хорошо развитой системой жил, секущих крупные андезитовые массивы.

Структура месторождения Стантрг

Рудные тела залегают в известняке и расположены по периферии трубчатого тела, сложенного брекчией; этому трубчатому телу приписывается вулканическое происхождение.

Вмещающей породой является известняк, окаймленный с обеих сторон и покрытый сверху толщей кристаллических сланцев. Известняк образует как бы ядро погружающейся антиклинали с осью северо-западного простирания, наклоненной на северо-запад под углом 40°. В горизонтальном сечении структура имеет обычную V-образную форму погружающейся антиклинали с осью, наклоненной на северо-запад. В вертикальном разрезе северо-восточное крыло антиклинали обнаруживает падение под углом 60—70° на северо-восток в точках, близких к вершине или углу свода, но его наклон делается на глубине более пологим, доходя до 30 и 40°; оно сопровождается мелкими волнообразными складками волочения. Юго-западное же крыло антиклинали хотя и падает на юго-запад вблизи вершины свода, но



Фиг. 77. План рудника Стантрг. Показано простирание контактов и рудных столбов.

с глубиной становится почти вертикальным. Контакт кристаллических сланцев с известняками, таким образом, представляет асимметрические очертания, но отсутствие видимой слоистости в известняке не дает возможности точного определения симметрии. Вскрытие месторождения было проведено со значительным успехом именно благодаря тому, что за исходное положение была принята его антиклинальная структура. Мощность или глубина известняка в центре не определена; наибольшая достигнутая глубина ниже свода антиклинали — 300 *м*.

Вдоль «гребня» этой структуры, между перекрывающими кристаллическими сланцами и известняками, протягивается трубчатое тело, заполненное брекчией и андезитом и имеющее в поперечном разрезе эллипсоидальную форму. Осевая плоскость трубы, повидимому, приблизительно совпадает с осью сланцево-известнякового свода. Хотя наклон трубы, в общем, согласуется с погружением свода антиклинали, все же существуют некоторые доказательства того, что на глубине труба имеет несколько более пологий наклон на северо-запад и тенденцию к приближению к толще кристаллических сланцев. В ее нормальном положении, рассматриваемом в вертикальном или горизонтальном разрезе, труба лежит приблизительно наполовину в кристаллических сланцах и наполовину в известняках. Поверхность висячего бока трубы переходит в брекчированные и раздробленные сланцы, в то время как в лежачем боку образуется резкий, чистый и ровный контакт с известняками.

Контакт между сланцами и известняками также резко выражен, и непосредственно по контакту протягивается полоса сильно раздробленных кварцитов или кварцево-слюдяных сланцев. Эта полоса имеет ширину от 5 до 50 *м* и постепенно переходит в черный филлит, которым она окружается. Черный филлит содержит большое количество безрудных кварцевых линз, расположенных параллельно слоистости; последние, повидимому, не связаны с рудной минерализацией.

Контакты трубчатого тела и сланцево-известняковый контакт послужили главными каналами, по которым рудоносные растворы проникли до благоприятного для минерализации известняка. Структурные взаимоотношения между трубой и сланцево-известняковым контактом являются важным моментом в контроле рудоотложения.

Состав «брекчиевой трубы». Труба на ее выходе на поверхность и в верхнем горизонте рудника состоит из центральной дацитовой части (или, как называют там, «андезита»), окруженной широкой оболочкой брекчии. На глубине размеры и очертания трубчатого тела остаются неизменными, однако происходит значительное уменьшение дацитовой сердцевины и частичное вы-

теснение ее брекчией. Наконец, на самых нижних горизонтах труба целиком слагается брекчией.

Брекчия состоит из блоков и полуокатанных обломков вмещающих пород — сланцев, кварца, известняка, а в верхних частях — также из округлых обломков дацита из осевой части трубы. Ниже количество известняка уменьшается, а обломки дацита отсутствуют. Более крупные обломки заключены в глинистую цементирующую основную массу, измененную гидротермальными процессами и несущую небольшую вкрапленность пирита, кремнезема и карбонатов. В верхней части цемент в основном состоит из хлоритовой мягкой массы, образование которой связано с разрушением дацитового ядра в постмагматическую стадию. Существующие данные говорят в пользу того, что брекчия была инъицирована позже, чем дацитовый некк (вероятно, до окончательного его затвердения), и двигалась по тому же пути вдоль структурно-ослабленной зоны гребня антиклинали.

Дацитовое ядро слагается светлой породой — от кремового до светлокоричневого цвета, приближающейся к кварцевому трахиандезиту. Порода сильно изменена и каолинизирована, причем разложению подвергались главным образом ферромагнезиальные минералы, за счет которых образовались хлорит, серицит, лимонит и вторичный кремнезем. В свежих образцах в стекловатой, но измененной основной массе можно распознать вкрапленники ортоклаза и плагиоклаза (вероятно, олигоклаз-андезина). Порода слабо пиритизирована и карбонатизирована, что говорит о ее пропилитизации.

Горные выработки

«Брекчиевая труба» и сланцево-известняковая структура обнажаются на крутом склоне, образующем юго-восточный борт долины Трепча, которая в этом месте сечет региональное направление простирания. Таким образом, погружающаяся на северо-запад структура отклоняется от юго-восточного борта долины и уходит под поток и далее на северо-западный борт долины. Обнажение находится на высоте 935 *м* и частично перекрывается горизонтально залегающими туфами. Русло долины в этом месте находится на высоте 760 *м*, а верхняя часть трубчатой структуры на юго-восточном склоне долины была вскрыта выработками на горизонтах 865, 830 и 795 *м*. На уровне 935 *м* имеется древний разнос, в верхнем крае которого обнажается покрывающий туф, а ниже залегает сланцево-известняковая серия, исчезающая в юго-восточном направлении.

Нижняя часть трубы сначала была вскрыта вертикальной шахтой до горизонта 650 *м*; на этом уровне шахта была сбита

с водоотливной штольней, пройденной в сланцах от пункта в 2,5 *км* ниже по течению речки. Выше рудное тело подсечено штольнями на горизонтах 730 и 670 *м*. Ниже горизонта 605 *м*, на котором тело брекчии переходит на северо-западную сторону долины, пройдены наклонные шахты на расстоянии 60 *м* одна от другой, т. е. на горизонтах 545, 485 и 435 *м*.

Таким образом, горными выработками, пройденными к марту 1941 г., рудное тело было разведано и вскрыто на 500 *м* по вертикали (т. е. от горизонта 435 до 935 *м*); кроме того, алмазное бурение показало, что рудоконтролирующая структура и оруденение продолжаются дальше, по меньшей мере еще на 300 *м*, что доводит разведанный по вертикали интервал до 800 *м*. На этом интервале наблюдались некоторые изменения в минералогическом составе рудных тел, которые будут изложены в следующем разделе.

Вскрытие месторождения, как показано выше, происходило в три стадии, и каждая стадия работ сопровождалась значительным объемом бурения, целью которого было установление поведения и структуры рудных тел.

Основной принятой системой разработок являлся метод разработки с закладкой («cut and fill»); поскольку рудное тело обычно имеет ширину до 70 *м* и длину в наиболее протяженной части свыше 100 *м*, то для поддержки обычно оставлялись небольшие целики. Там, где брекчия и сланцы имеют особенно пологие контакты висячего бока, условия залегания руды требуют очистной выемки с применением крепления квадратными окладами. Для подъема руды существуют подъемники между главными откаточными путями на промежутках в 60 *м*.

Рудные месторождения

Размеры рудных тел и распределение руды. Геологическая структура месторождения оказала значительное влияние на рудоотложение; она характеризуется многими интересными особенностями. Рудное месторождение возникло путем замещения известняка, причем этому процессу способствовало наличие двух наклонных контактов между брекчией и известняками и между кристаллическими сланцами и известняками. Контакт с брекчией рассматривается как главный проводящий путь, но вместе с тем на глубине контакт со сланцами также сыграл важную роль. Вертикальный и горизонтальный разрезы через месторождение показывают перегиб кристаллических сланцев, падающих в противоположных направлениях от свода; интрузия брекчиевой трубы видоизменила границы известняка, приблизив их очертания к закругленной заглавной букве «М», в которой центральный входящий угол изображает трубу брекчии, а две точки двух



Фиг. 78. Погоризонтные геологические планы рудника Стантрг на горизонтах 830, 610 и 485 *м*.

верхних углов буквы представляют тройной контакт между брекчией, сланцами и известняками (они известны в Стантрге как северо-восточный и юго-западный структурные выступы, или «носы»). Эти выступы, лежащие на соединении двух контактов по обе стороны брекчии, оказались в высшей степени благоприятными для рудоотложения. В образовавшейся таким образом известняковой «бухте» происходило полное замещение от контакта до контакта, а от этих участков или фокусных точек оруденение распространялось вдоль контактов брекчии и сланцев по обе стороны трубы. Рудные тела наклонены к северо-западу в среднем под углом 40° и, таким образом, следуют углу наклона брекчии и покрывающих кристаллических сланцев. Оруденение, локализующееся в выступах («носах»), протягивается без перерыва примерно на 700 *м* по падению; что же касается до горизонтального сечения, то рудное тело северо-восточного «носа» вместе с его продолжением вдоль контакта имеет на отдельных горизонтах пригодную для разработки площадь до 7000 *кв. м*. Рудные тела могут быть охарактеризованы, как относительно пологозалегающие, неправильные, трубообразные рудные столбы, положение которых контролируется главными контактами.

Другие, хотя и меньшие, но все же имеющие значение рудные тела, проявляются в различных расстояниях от брекчии вдоль северо-восточного и юго-западного контактов с кристаллическими сланцами. При разведке горизонтов иногда обнаруживались разрозненные рудные столбы, повидимому, залегающие изолированно в известняке лежачего бока, но в дальнейшем они неизменно оказывались не чем иным, как ответвлениями главной рудной залежи.

В верхней части рудника наиболее продуктивной является северо-восточная сторона брекчии, но на более нижних горизонтах юго-западная сторона показывает значительное увеличение рудной площади. Крупное рудное тело, характерное для северо-восточной части структуры, обнаруживает уже упомянутую тенденцию разделяться на более мелкие тела с сохранением общей суммарной площади их сечения. На верхних горизонтах рудные тела расположены в пределах структурных выступов, в основании брекчии и вдоль идущего от выступа контакта со сланцами. Эти отдельные рудные тела сливаются на средних горизонтах, образуя одну залежь, протягивающуюся вдоль трубы от выступа («носа») до основания. На нижних уровнях это крупное тело снова разделяется на несколько составляющих, подобно тому как это имело место в верхних частях месторождения.

Части главного рудного тела, которые примыкают к брекчиевой трубе в промежутке между выступом и основанием, ограничены со стороны висячего бока крупным контактом брекчии, падающим под углом 65°; по направлению к основанию трубы

контакт становится более пологим. В то же время рудные тела, примыкающие к сланцам, характеризуются пологими контактами висячего бока, угол падения которых уменьшается от 40 до 30° по мере увеличения расстояния от выступа. Лежачий бок в контакте руды с известняком во всех участках имеет весьма неправильные очертания, но переход от руды к известняку резко выражен. В контакте рудного тела не наблюдается вкрапленных руд, а обычно отмечается ритмичная полосчатость с чередованием сульфидов и жильных карбонатов в периферической изобилующей пустотами зоне мощностью в несколько метров, окружающей массивную сульфидную руду.

Послерудные нарушения были незначительными и ограничивались редкими и небольшими смещениями, в то время как все значительные структурные деформации имели место до циркуляции рудных растворов. Это особенно хорошо видно на примере некоторых расположенных в отдалении рудных тел, залегающих на северо-восточном контакте сланцев. Здесь разведка вскрыла на расстоянии около 500 *м* от «носа» несколько второстепенных складок волочения, осевые плоскости которых грубо параллельны общей структуре брекчиевой трубы. В результате замещения известнякового ядра в этих складках образовались небольшие, но высокопроцентные рудные тела, и ясно, что второстепенные структурные нарушения также послужили вводными каналами для минерализации. Эти второстепенные структуры становятся более ярко выраженными с глубиной, где наблюдается явная тенденция к повышенной концентрации свинцово-цинковых сульфидов в таких благоприятных структурах, расположенных на нижних горизонтах в большом отдалении от трубок. Распределение свинцово-цинковых сульфидов по отношению к андезитово-брекчиевой трубе как главному каналу и по вертикали и по горизонтали отражает, повидимому, проявление температурной зональности.

Рудные тела залегают в близком соседстве с контактами и приурочены к зоне шириной 100 *м*, которая изгибается согласно с дугообразным изгибом кристаллических сланцев. Брекчиевая труба нарушает непрерывность контакта кристаллических сланцев приблизительно в центре разведанной зоны и, включая промежуток брекчии в 100—150 *м* между выступами, дугообразный контакт кристаллических сланцев исследован полностью приблизительно на протяжении 1 *км*.

Мелкие рудные тела и проявления минерализации встречены на всем протяжении обоих крыльев структуры в пределах разведанной площади, и возможно, что разведочные работы на более низких горизонтах откроют новые рудопроводящие каналы.

В удалении от месторождения проявления минерализации известны далее к юго-востоку, вдоль простирания известняковой

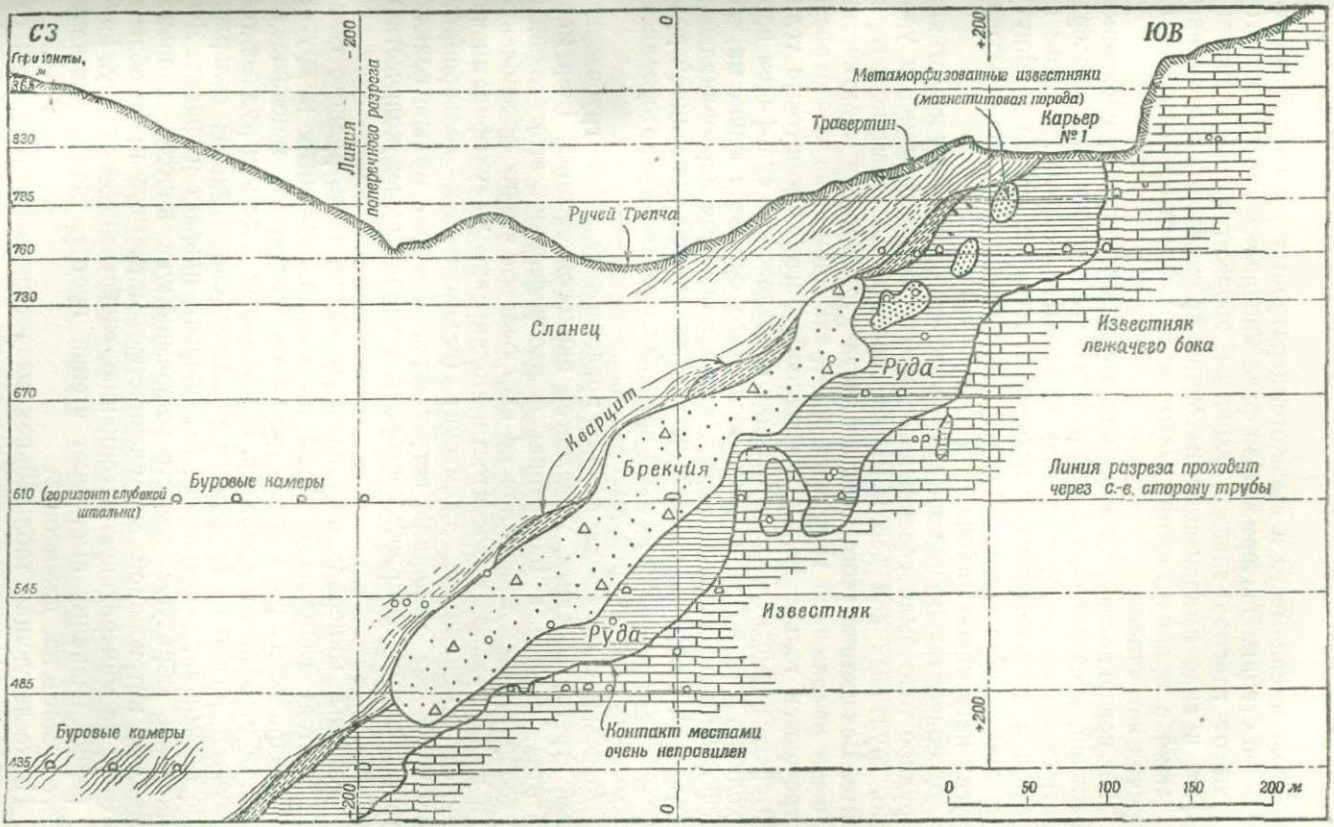
формации в мазикском и мельеникском обнажениях, которые считаются принадлежащими к тому же стратиграфическому горизонту.

Важность установления связи между отдельными выходами известняка очевидна, если принять во внимание экономические возможности, связанные со скрытыми частями контакта известняка и кристаллических сланцев. Хотя несомненно, что главный рудный столб в Стантргской структуре непосредственно связан с трубчатой интрузией, тем не менее есть доказательства распространения минерализации и по другим структурным каналам, расположенным в известняковой формации и вблизи нее. Вполне возможно, что брекчиевая труба была только одним из нескольких проводящих путей, давшим промышленные залежи руды, но пока это не достоверно.

Данные предварительного бурения подтверждают положение известнякового контакта в промежутке между обнажениями Стантрг и Мазик, которые вместе образуют юго-западное крыло синклинория долины Трепча, а обнажения Мельеника и Мазик — его восточное крыло. Бурение основывалось на данных поверхностной и подземной структурной съемки, благодаря которым установлено, что 1) среднее простирание контакта сланца с известняком параллельно кливажу сланцев и направляется в сторону северо-западной границы Мазикского обнажения; 2) складчатость второго порядка и разрыв на контакте между сланцами и известняками, обнаруженные при подземном картировании, находят отражение на поверхности в антиклинальных и синклинальных структурах в свите сланцев; 3) кливаж в сланцевой серии на северном борту долины Трепча падает неизменно на северо-восток и обычно круче, чем на южной стороне. Направление стока на отрезке от Мазика до соединения с потоком Мельеника следует по ослабленной зоне, которая, вероятно, определяется главной осевой плоскостью складчатости; 4) долеритовые интрузии, расположенные в этой осевой ослабленной зоне, содержат включения известняка, хотя на поверхности они окружены кристаллическим сланцем.

Интенсивность стресса, вызвавшая асимметричность структуры и разрывы на крыльях, вероятно, осложнила скрытую структуру сбросами и надвигами. Такие структурные изменения могли образовать каналы для минерализующих растворов.

Минерализация. В своих главных характерных особенностях минерализация соответствует мезотермальному классу Линдгрена и возникла в результате гидротермальной деятельности, связанной с интрузиями умеренно-кислого состава. Некоторые минеральные ассоциации в верхних горизонтах и на глубине наводят, однако, на мысль о том, что ранняя фаза рудообразующего



Фиг. 79. Продольный вертикальный разрез рудника Стантрг.

процесса имела место в высокотемпературных условиях гипотермальной стадии. Эпитермальная фаза минерализации проявляется вдали от главной залежи, главным образом в вышележащих туфах, в виде импрельяции и тонких прожилков по трещинам, а также в пропилитизации магматических пород и отложениях горячих источников.

На поверхности, частично маскируя выход трубы, сложенной брекчией, и связанного с ней рудного тела, проявляется поверхностное отложение травертина; по соседству с рудным телом из трещин и пустот вытекают источники, дающие 3500 *л* в минуту при температуре воды 29°, т. е. выше нормальной температуры других источников района.

До сравнительно недавнего геологического времени известняки и рудное тело были совершенно закрыты туфовой серией и уровень грунтовых вод держался на гораздо более высоком горизонте. Вследствие этого верхняя часть рудного тела практически лишена наложенной вторичной минерализации и на поверхности встречаются только мелкие карманообразные лимонитовые тела. Интересно отметить, что окисление и разложение сульфидов происходят в них почти нацело, после чего остаются лишь мягкие бесформенные массы лимонита, почти лишенные первоначальной структуры, а переход от лимонита к неизменной сульфидной руде проявляется довольно резко в пределах небольшого интервала от нескольких сантиметров до 1—2 *м*.

Массивная сульфидная руда представляет собой грубозернистый агрегат галенита, железистой цинковой обманки (или марматита), пирита и пирротина; в распределении этих главных рудообразующих минералов не наблюдается четких обособлений или избирательной полосчатости. Подчиненными сульфидами являются арсенопирит, джемсонит (плюмозит) и халькопирит; последние два минерала встречаются в очень малых количествах. Галенит содержит серебро и в значительных количествах висмут.

Жильные минералы составляют меньшую часть рудного тела; они состоят главным образом из кварца, кальцита и других ромбоэдрических разностей карбонатов — сидерита, манганосидерита, родохрозита и доломита. В некоторых участках рудных тел получают развитие ферромагнезиальные силикаты, не содержащие алюминия, — актинолит, геденбергит, ильваит и гранат. Эти минералы образуют известково-кремнистую породу, сопровождаются интенсивной вкрапленностью магнетита и, в общем, похожи на минеральную ассоциацию, свойственную скарну. Гипс и редко вивианит выстилают стенки пустот, где также чаще всего отлагается джемсонит.

Нижеследующая табл. 28 показывает площадь вскрытых горизонтов и содержания металлов в руде.

Таблица 28[1]

РУДНЫЕ ПЛОЩАДИ И СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ

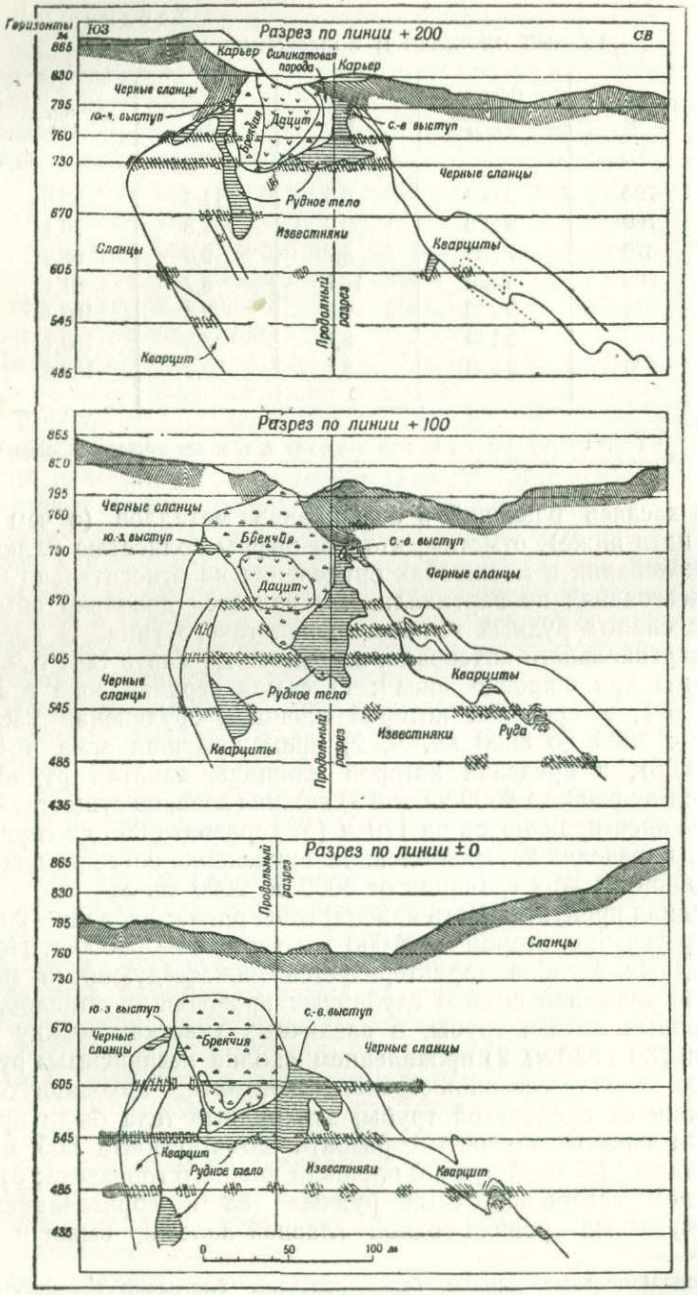
Горизонт, *м*	Общая площадь, *кв. м*	Pb, %	Zn, %	Ag, *г/т*
795	5 000	6,3	11,5	55,8
760	8 500	9,0	7,8	76,1
670	7 780	5,7	9,3	60,9
605	6 590	10,7	5,7	81,1
545	9 240	9,3	2,8	109,1
485	9 180	8,1	3,5	109,1
435	8 250	8,7	3,4	139,6

[1] Точных цифр для горизонтов 865 и 830 *м*, т. е. для горизонтов старых работ, получить не удалось.

Не касаясь различий в содержании металлов (о чем речь будет идти ниже), отметим, что эти цифры полностью иллюстрируют колебания в масштабах оруденения на относительно коротких расстояниях по вертикали, что является довольно обычным для массивных рудных тел замещения такого типа. В пределах всего вертикального интервала, вскрытого до марта 1941 г., можно различить три широкие зоны[1]: 1) самая верхняя зона в 100 *м* (865—760), в пределах которой площадь оруденения увеличивается с 3000 до 8000 *кв. м*, 2) промежуточная зона в 150 *м* (760—605), в пределах которой площадь, занятая рудой, колеблется от 5500 до 8000 *кв. м* и 3) нижняя зона, по существующим данным простирающаяся на 170 *м* (от горизонта 605 до горизонта 435 *м*), в пределах которой площадь оруденения остается довольно постоянной в узких границах от 8000 до 9000 *кв. м*.

Средняя продуктивность каждой зоны равна: первой — 20 000 *т* на метр углубки, второй — 28 000 *т* и третьей — 32 000 *т*. Поведение рудных столбов характеризуется нижеследующими моментами: 1) взаимной связью глубинных проводящих каналов, расположенных вблизи трубы, в различных участках между горизонтами 730 и 830 *м;* 2) проявлением вполне независимых рудных каналов вдоль северо-восточного контакта, находящегося в отдалении от брекчиевой трубы; эти рудные тела были прослежены от самого нижнего горизонта до горизонта 605 *м*; они составляют 12% всей рудной площади нижнего горизонта; 3) объединением северо-восточных рудных тел и образованием на промежуточных уровнях одной главной залежи, выше и ниже

[1] Дополнительные данные были получены благодаря промежуточным горизонтам.



Фиг. 80. Поперечные вертикальные разрезы рудника Стантрг.

происходит расщепление оруденения вдоль нескольких каналов, причем рудное тело, лежащее в непосредственной близости к контакту кристаллических сланцев, на глубине становится более значительным; 4) наибольшим развитием юго-западных рудных тел на самых высоких и на самых низких горизонтах, в то время как на промежуточных горизонтах они разделяются на несколько составляющих. В этом промежуточном секторе площадь известняка на юго-западном участке сильно сокращается благодаря появлению нескольких пластов кварцево-слюдяных кристаллических сланцев, не благоприятных для замещения.

С глубиной наступают некоторые изменения в ассоциации минералов и в соотношении между содержанием главных и второстепенных рудных компонентов. Такие изменения зависят не только от глубины, но также и от положения рудопроводящего канала по отношению к брекчиевой трубе.

Приводимая ниже табл. 29 показывает валовое среднее содержание главных рудных компонентов, представляющих экономический интерес, и определенных в руде главных горизонтов рудника. Хотя эти цифры охватывают не всю вскрытую руду, тем не менее остальная ее часть, не включенная в сводку из-за неполноты опробования, не может существенно повлиять на приведенные результаты (ср. с табл. 28).

Таблица 29

РУДНЫЕ ПЛОЩАДИ И СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Горизонт, *м*	Площадь, *кв. м*	Pb, %	Zn, %	Ag, *г/т*	Bi, %
730	5 478	7,3	10,00	58,3	Не определены
605	6 445	10,7	5,74	80,4	0,008
545	8 779	9,4	3,07	109,7	0,016
485	8 939	8,1	3,49	108,4	0,019
435	7 774	8,7	3,40	137,8	0,029

Среднее содержание цинка показывает заметное уменьшение ниже горизонта 730 *м*. Уменьшение касается главным образом рудных столбов, расположенных в пределах контакта с брекчиевой трубой. В противоположность этому рудные столбы, расположенные на некотором расстоянии вдоль контакта кристаллических сланцев, сохраняют постоянное содержание цинка до самых нижних горизонтов. Эта особенность хорошо иллюстрируется сравнением рудного тела, близкого к юго-западному контакту, и рудного тела, расположенного в северо-восточном выступе, т. е. вблизи трубы (см. табл. 30).

Таблица 30

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В РУДЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛ

Горизонт, *м*	Рудное тело северо-восточного структурного выступа			Рудное тело на контакте с кристаллическими сланцами		
	площадь, *кв. м*	Pb, %	Zn, %	площадь, *кв. м*	Pb, %	Zn, %
605	Не определена	9,0	6,0 (прибл.)	367	7,3	7,0
545	2 078	8,7	2,1	690	5,6	7,2
485	2 967	6,9	0,2	1,537	5,8	4,2
435	1 916	8,3	0,4	1,648	7,4	7,3

Большая мощность рудного столба вблизи трубы особенно подчеркивает резкое уменьшение валовых цифр (см. табл. 29). На нижних горизонтах количество цинковой обманки определенно увеличивается в направлении лежачего бока отдельных рудных столбов. Более мелкие рудные тела, расположенные на расстоянии 300—350 *м* от трубы, несколько богаче по среднему содержанию и содержат до 10—13% цинка. Цинковая обманка, или марматит, содержит большое количество железа: анализ чистых кристаллов цинковой обманки показал 53—54% цинка и 12—13% железа.

Изменения в содержании свинца на отдельных горизонтах замечено не было; на горизонтах 760 и 650 *м* встречается немного более высокопроцентная руда, разделенная в промежутке, т. е. на горизонте 670 *м*, значительно более бедной рудой. Ниже горизонта 605 *м* среднее содержание свинца варьирует от 8 до 9%, т. е. весьма незначительно.

В то время как галенит образует на верхних горизонтах характерные крупные агрегаты кристаллов, на нижних наблюдается тенденция к его большей мелкозернистости и более тесной смеси с пиритом и пирротином. Это особенно характерно для рудных тел структурных выступов, которые на глубине также содержат меньшее количество скоплений богатой руды и вообще являются более низкопроцентными.

Галенит содержит серебро и висмут, причем содержание этих элементов показывает заметное и равномерное увеличение с глубиной. Так же как в случае цинковой обманки, существуют латеральные изменения в зависимости от расстояния рудных тел от осевой части брекчиевой трубы. Количество серебра и висмута увеличивается с глубиной вблизи брекчиевой трубы и на всех горизонтах уменьшается с удалением от ее центра. Табл. 31 иллюстрирует изменения в общих содержаниях металлов.

Таблица 31

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В РУДЕ

Горизонт, *м*	Pb, %	Ag, *г/т*	Bi, %	Отношения	
				Ag : Pb	100 Bi : Pb
605	10,7	81,2	0,008	0,30	0,08
545	9,4	109,1	0,016	0,46	0,17
485	8,1	109,1	0,019	0,53	0,23
435	8,7	137,1	0,029	0,62	0,33

На этом интервале глубины в 170 *м* отношение серебра (общее) повышается с 8,5 до 17,5 *г* на 1% свинца, в то время как содержание висмута увеличивается еще более заметно. Горизонтальные изменения повторяются на каждом из нижележащих горизонтов; например, отношение серебра к свинцу на горизонте 435 *м* для отдельных рудных столбов равно 25,38, 15,22, 10,15 и 5,07 в зависимости от различного их расстояния от выступа, или «носа».

Таким образом, руда с больших глубин дает свинцовые концентраты, значительно обогащенные серебром и висмутом. При переходе от руды к концентрату чистый коэффициент обогащения свинца равен приблизительно 9; эта же цифра получается для серебра и висмута, что указывает на связь этих компонентов с галенитом. Помещаемая ниже табл. 39 иллюстрирует экономический результат общего повышения содержания металлов в руде, добываемой из более глубоких частей рудника; с 1931 по 1935 г. вся руда была добыта выше горизонта 605 *м*, с 1935 до 1938 г. по мере углубления работ коэффициент обогащения медленно повышается, с 1938 по 1940 г. главная масса руды была получена с нижних горизонтов (485 и 435 *м*) и коэффициент соответственно резко повышается.

В содержании меди наблюдаются небольшие колебания в пределах от 0,15 до 0,20%. Халькопирит встречается в промежутках между зернами пирротина и галенита, иногда нарастая на кристаллических гранях этих минералов.

Пирротин и пирит составляют главную массу рудного тела и на верхних горизонтах присутствуют приблизительно в равных частях. На глубине содержание пирротина сильно увеличивается вблизи трубы в рудных телах структурных выступов и на горизонте 435 *м*; эти рудные тела состоят почти целиком из массивного пирротина, содержащего тонкорассеянный галенит; по мере удаления от брекчиевой трубы соотношение пирротина и пирита

опять достигает величин, характерных для верхних горизонтов. Пирротин массивный, по стенкам пустот он образует гексагональные пластинки в форме гребенчатых сростков. Пирит проявляется в форме агрегатов кристаллов, а также в виде чрезвычайно рассеянной тонкой вкрапленности в тесной смеси с сидеритом. Последний в образцах кажется матовым, более светлым, чем его обычная разность, а отдельные его зернышки можно различить только под микроскопом.

Таблица 32

АНАЛИЗ СВИНЦОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Годы	Свинцовые концентраты, *т*	Pb, %	Ag, *г/т*	Bi, %
1934—1935	64 874	79,91	612,7	0,010
1935—1936	63 131	79,52	662,9	0,034
1936—1937	70 486	79,39	689,3	0,058
1937—1938	72 989	79,23	712,9	0,072
1938—1939	65 561	79,47	785,5	0,104
1939—1940	73 803	79,39	873,6	0,143

Арсенопирит нарастает на другие сульфиды железа в пустотах краевых частей рудных тел, ассоциируя с ромбоэдрическими карбонатами. Содержание мышьяка не претерпевает никаких особых изменений с глубиной, составляя в среднем 0,30%. Количество джемсонита незначительно в нижней части рудника; в верхних же частях месторождения джемсонит нередко встречается в пустотах, нарастая на пирротине, цинковой обманке, галените и родохрозите.

Силикаты встречаются и на верхних и на нижних горизонтах, но на верхних горизонтах они приурочены к контакту брекчии или дацита с известняком; на нижних же горизонтах силикаты более тесно связаны с рудными телами, которые расположены особенно близко к структурным выступам по обе стороны трубы. На горизонтах выше 730 *м* силикатная порода проявляется в форме линзообразного тела, расположенного по середине северо-восточного края брекчии. Здесь оболочка брекчии тонка или отсутствует совсем, и тогда силикатная порода залегает непосредственно на контакте с дацитовым «ядром». Вдоль лежачего бока этой линзообразной массы силикатной породы встречается нормальная сульфидная руда. Это промежуточное силикатное метаморфическое тело уменьшается в размере ниже горизонта 730 *м*, и на горизонте 670 *м* весь северо-восточный контакт брекчии занят годной для добычи рудой, хотя и не-

сколько низкопроцентной. Силикатная порода состоит из кварца, кальцита, актинолита, геденбергита и железистого граната и содержит рассеянную вкрапленность пирита и магнетита. Эта ассоциация относится к ранней фазе минерализации контактово-метаморфического характера и непосредственно связана с дацитово-брекчиевой трубой. Вблизи трубы известняк сильно мраморизован и имеет грубую сахаровидную структуру.

Распределение силикатных минералов ниже глубины 605 *м* носит несколько иной характер — здесь силикаты тесно связаны с рудными телами, залегающими в «носовых» выступах. Эти минералы приурочены к тем глубинам, на которых пирротин становится главным сульфидом железа в рудном теле. Силикаты — актинолит, ильваит и геденбергит — вместе с кварцем и кальцитом являются главными жильными минералами в периферических зонах нижних частей рудных тел, залегающих в структурных выступах. Их появление рассматривается как результат метаморфического изменения известняка в течение процесса рудоотложения и указывает на переход с глубиной вблизи брекчиевой трубы к гидротермальным условиям. Изменение минерального состава в зависимости от положения относительно брекчии характеризуется также увеличением концентрации цинк- и свинецсодержащих минералов в более удаленных от нее рудных телах.

После кварца преобладающими жильными минералами являются карбонаты различного состава, варьирующие от родохрозита, манганосидерита до сидерита, а также кальцит и отчасти доломит. Присутствие второстепенных периферических рудных тел в верхних горизонтах отмечается выходами смешанных карбонатов, которые становятся рудоносными на глубине. Количество родохрозита на нижних горизонтах уменьшается, а содержание кварца, наоборот, увеличивается.

Повышенное содержание кварца и ромбоэдрических карбонатов часто является признаком приближения рудного тела к известнякам лежачего бока, на что также указывает значительное увеличение количества и размеров пустот. Некоторые из этих пустот по периферии главных рудных тел связаны между собой системой поперечных трещин и достигают очень больших размеров. Это вынуждало к большой осторожности при проходке новых горизонтов до тех пор, пока не понижался уровень грунтовых вод. Хотя с глубиной размеры пустот внутри рудного тела и уменьшаются, но тем не менее отдельные довольно значительные полости встречаются по периферии рудного тела вплоть до самых нижних горизонтов.

Происхождение и последовательность минерализации. Насколько известно, углубленного лабораторного исследования

парагенетических особенностей минерализации Стантргского месторождения не проводилось.

Общая последовательность минерализации такова:

Рудные минералы: пирит (1), пирротин, галенит, халькопирит, пирит (2), марматит, пирит (3), арсенопирит, джемсонит.

Жильные минералы: кварц, сидерит, кальцит, кварц, родохрозит и кальцит.

Отмечены две главные генерации пирита, из которых одна относится к ранней фазе, предшествовавшей основному отложению свинцово-цинковых и железных сульфидов. Взаимоотношения галенита и пирротина говорят об одновременности их отложения; затем следовала преимущественно марматит-пиритовая фаза, до некоторой степени наложившаяся на период отложения галенита. Арсенопирит и джемсонит принадлежат к поздней сульфидной фазе, сопровождавшейся отложением ромбоэдрических карбонатов. Кварц сопровождает и раннюю и позднюю минерализацию, в то время как отложение карбонатов приурочено главным образом к поздней марматит-пиритовой фазе.

Общая геологическая обстановка и структура рудного тела свидетельствуют об отложении руд путем замещения известняка в то время, когда орогенические силы, обусловившие образование складок и нарушений в породах осадочной серии, в значительной мере ослабли и статические условия начали восстанавливаться благодаря местным разрывам. В осевой зоне антиклинали или в «фокусе рельефа» локализовалась дацитовая интрузия, и ее путь отмечен так называемой «брекчией взрыва». Самый механизм внедрения сложного тела брекчиевой трубы некоторыми исследователями приписывается только тектоническому дроблению в течение периода складчатости, но такого рода воззрение встречает возражения, так как здесь не принимается в расчет нарушение дацитовой сердцевины и другие явления, находящиеся во взаимной связи.

Рудоносные растворы следовали после затвердения массы брекчии в конечные фазы вулканической деятельности, а осаждение минералов происходило в благоприятных структурах, т. е. в теле брекчии и нарушенном контакте кристаллических сланцев с известняком. Циркуляции рудных растворов в известняке способствовала правильная отдельность как по простиранию, так и вкрест простирания известняка, образовавшаяся в процессе динамометаморфизма. В самую последнюю стадию наличие трещин поперечной отдельности способствовало проникновению растворов из соседнего известняка и образованию полостей и пустот близ рудного тела.

Контакт сланцев и покрывающих туфов, возможно, играл роль экрана, задерживающего рудоносные растворы, но вместе с тем большое значение имела в процессе рудообразования цир-

куляция растворов вдоль структурно-ослабленных зон по контакту известняков и сланцев, откуда минерализация распространялась в благоприятные для замещения известняки. Выше было отмечено зональное распределение минерализации относительно трубы и указывалось возможное влияние температурного фактора на характер отлагавшихся минералов.

Роль геологического изучения при разведке месторождения

Развитию горных работ предшествовало постепенное накопление геологических знаний о залегании рудных тел, получаемое благодаря алмазному бурению. Вначале считалось, что контакт брекчии с известняком является надежным руководящим указанием на локализацию рудных залежей; соответственно этому штольни верхних горизонтов были заданы на подсечение этого контакта. Затем выработки следовали по контакту, и из получившегося таким образом подковообразного штрека разведочные квершлаги в поисках руды проходились радиально через руду или же в известняке.

Позже было приступлено к выполнению программы последовательного алмазного бурения через вертикальные интервалы приблизительно в 200 *м*, благодаря чему были получены точные сведения в отношении поведения, направления, простирания и положения главных контактов, а также о процентном содержании металлов в отдельных рудных телах на глубине. Сопоставление поперечных и продольных разрезов дало возможность уже заранее точно наметить границы будущих горизонтальных выработок и таким образом планировать вскрытие месторождения, исходя из требований, системы разработки и подъема руды на поверхность. В начальный период вскрытия рудника бурение было направлено главным образом на определение запасов руды и установление непрерывности отдельных рудных тел, но на нижних горизонтах было также обращено серьезное внимание на выяснение точных очертаний некоторых контактов, особенно северо-восточного контакта кристаллических сланцев близ главных наклонных шахт, предназначенных для подъема руды и откачки воды.

Ввиду значительной водоносности известняка разведка ниже водного горизонта велась через уклонки, заложенные в водонепроницаемой серии кристаллических сланцев, и все подготовительные проходки в водоносных пластах производились под прикрытием ограждающей плотины. Основываясь на результатах широкого бурения, все эти наклонные шахты были заложены в пределах узкой полосы кварцита, прилегающего к известняку.

Положение скважин на горизонте бурения определялось двумя штреками, проложенными по обе стороны трубы параллельно

крупным носовым структурам и над ними. Буровые камеры устанавливались на расстояния 40 *м* одна от другой по падению, а буровые скважины — вертикальные и наклонные — пробуривались последовательно на параллельных поперечных линиях; таким образом каждый ряд буровых скважин пересекал промежуток контакта в 400 *м*. После установки оборудования для откачки на каком-либо из горизонтов сразу же приступали к вскрышным работам путем проведения штреков параллельно установленному простиранию главных контактов; из них по мере надобности проходились квершлаги и задавалась сеть буровых скважин для освещения полосы известняка на расстоянии 100—200 *м* от главных штреков. Алмазное бурение также широко применялось при эксплоатации для предотвращения потери руды в связи с непредвиденными неровностями и раздувами руды в известняках лежачего бока.

Все подготовительные выработки и забои документировались в масштабе 1 : 200; данные этой документации были использованы при составлении общего геологического плана и разрезов месторождения в масштабе 1 : 500. Опробование всей руды проводилось метровыми бороздами по обеим стенкам штреков и квершлагов. Взятие контрольных проб из забоев производилось с помощью перфораторного молотка на определенных интервалах, что в сочетании с опробованием всей зоны минерализации, пересеченной глубоким бурением, дало возможность получить полную картину содержания в рудах по всему месторождению в целом.

Интересно отметить, что для учета потери металлов в результате дробления керна было проведено проверочное опробование отдельных буровых скважин после вскрытия руды штреками на всем их протяжении. Эта работа в 1930 г. показала, что к существующим данным опробования кернов должна быть прибавлена поправка в 40% содержания свинца и цинка. Последующая добыча нескольких миллионов тонн руды подтвердила правильность поправочного коэффициента, полученного таким методом, к результатам опробования первых буровых скважин в применении к рудам типа Стантргского месторождения. В относительно ранние стадии разработки были взяты средние пробы кернов из горизонтов, расположенных на 60 *м* друг от друга. Затем были выполнены полные анализы этих средних проб по различным зонам, причем путем сравнения результатов были точно предсказаны изменения содержаний главных компонентов с глубиной.

ДИСКУССИЯ

К. Форган. Целью настоящего доклада было освещение фактического состояния разрабатываемых в настоящее время рудных месторождений в Стантрг (Югославия). Как упоминалось, мы были лишены возможности

дать здесь нечто большее, чем беглый обзор вопросов генезиса. Более подробно мы останавливаемся только на статистических данных, отображающих изменение содержания металлов и минералогического состава руд с глубиной. Хотя приводимые цифровые данные имеют главным образом местное значение, однако мы считаем, что это изменение само по себе может представлять и более общий интерес в сравнении с некоторыми свинцово-цинковыми рудными полями, в которых содержание цинка с глубиной увеличивается за счет содержания свинца.

Поскольку предметом настоящего сборника является обзор всех мировых запасов свинца и цинка, как достоверных, так и возможных, то следует отметить, что описываемое нами рудное тело должно рассматриваться лишь как одно из свинцово-цинковых месторождений, широко распространенных на балканском отрезке средиземноморской складчатой зоны. Некоторые из этих месторождений, не упоминаемые в настоящем сборнике, обладают значительными запасами высококачественной руды, другие пока что поддаются лишь предварительной оценке в отношении вероятных запасов в них тех или иных руд. Данные, приводимые в табл. 3 в отношении запасов месторождения Стантрг, относятся исключительно к достоверным запасам, разрабатывавшимся в экономических условиях довоенного времени. В эти цифры не входит значительный тоннаж частично подсчитанных запасов руд.

Эти замечания, касающиеся только одной незначительной части сильно минерализованной складчатой зоны, говорят о том, как трудно на основании имеющихся литературных данных дать точную и наглядную картину состояния достоверных и вероятных запасов руды.

Средиземноморскня зона, о которой здесь идет речь, охватывает хорошо известные месторождения южной Испании, северо-западной Африки, Сардинии, северо-западной Италии, Югославии, Греции и Турции. Помимо рассмотренных геологических данных, история рудного тела в этих областях приводит нас к заключению, что содержащиеся в настоящем сборнике данные могут оказаться в отношении этой зоны заниженными. Иными словами, я смотрю оптимистически на возможности, скрытые в этих частично неразрабатываемых месторождениях.

За десять лет эксплоатации до второй мировой войны месторождение Стантрг дало около 3% годовой мировой добычи свинца или около 25% добычи этого металла в средиземноморской складчатой зоне. Это месторождение представляет собой одно из наиболее значительных и доступных месторождений данной зоны. Продукция его составляет значительную часть общей мировой добычи свинца и цинка, полученной на относительно небольшом числе крупнейших предприятий — таких же или бо́льших размеров, как, например, рудник Сулливан в Канаде, австралийские рудники, рудники Сан Франциско в Мексике и др.

Эти месторождения по своей доступности и продуктивности являются исключительно благоприятными; в последние годы они, несомненно, разрабатывались заново с целью получения других видов руды. Бо́льшая часть добычи приходилось на эти легко извлекаемые металлы. Частично добывался очень важный побочный продукт, обычно в связи с добычей золота и меди. Добыча этого побочного продукта имела своим следствием некоторое пренебрежение поисками и недоиспользование тех возможностей, которые еще имеются в некоторых месторождениях свинца и цинка, заслуживших себе мировую известность.

В то время как разведка на менее известных территориях докембрийского щита представляет только теоретические возможности открытия новых крупных источников руды, в ряде уже известных месторождений остаются еще не использованными значительные реальные возможности в этом отношении. Мнение, что достоверные запасы угрожающе низки, несомненно, разделяется всеми; оно приводит к выводу, нашедшему свое отражение в настоящем сборнике и гласящему, что «...при современной производительности рудников

и обогатительных фабрик рассчитывать на расширение добычи не представляется возможным». Общепризнанным является тот факт, что истощение запасов руды шло более быстрым темпом, чем обнаружение новых ее источников.

По нашему мнению, до сих пор слишком много внимания уделялось поискам новых месторождений, вместо развития и улучшения оборудования уже действующих разработок. Новые источники руды могут быть найдены за счет расширения уже разрабатываемых месторождений и за счет увеличения добычи в них путем модернизации техники производства с учетом изменившихся экономических условий.

К. Дэнхем благодарит автора за сделанные дополнения к сборнику. При составлении табл. 3 Дэнхем был поражен скудостью имеющихся данных, особенно в отношении запасов руды в ряде месторождений, расположенных в разных частях света. Он выражает надежду на то, что участники дискуссии и конгресса сообщат дополнительные данные, что дало бы возможность получить более точную картину состояния мировых запасов свинца и цинка.

ЛИТЕРАТУРА

Wray D. A., Geology and Mineral Resources of Yugoslavia, *Report of Br. Econ. Miss., Dept. of Overseas Trade,* 1921.

Brammall A., The Stantrg Lead-Zinc Mine, Yugoslavia. *Min. Mag.,* Jan., 1930.

„Trepca Mines Ltd." *Mining and Metallurgy* 1936.

Nikitin V. and Duhovnik J., Stantrg Lead-Zinc Mine. *Ljubljana,* 1937.

Balkan base metal Enterprise. *Eng. Min. Jour.,* **147**, No 9.

ГРЕЦИЯ

Г. МАРИНОС[1]

СВИНЦОВЫЕ И ЦИНКОВЫЕ РУДЫ В ГРЕЦИИ

Краткое содержание

Рассматриваются месторождения свинцовых и цинковых руд в Греции в связи с известными основными или кислыми изверженными породами. Главная минерализация имела место в неогене после завершения пликативных и дизъюнктивных дислокаций в восточной Эгейской зоне. Рудоотложение совпало с гранодиоритовой стадией дифференциации глубинной магмы. Сульфидные руды, послетектонические гранодиориты и неогеновые дацитоандезитовые вулканы представляют собой явления, обусловленные действием одной и той же магмы, но связанные между собой только косвенно. Свинцовые и цинковые месторождения представляют здесь, как правило, месторождения замещения субвулканического типа; на основании этого делаются выводы в отношении их размеров и содержания металлов.

Свинцовые и цинковые месторождения представляют главные руды Греции и в то же время — единственные проявления рудной минерализации в восточном и северо-восточном районах страны. Некоторые рудные центры, например Лаврион в Аттике и северо-восточная Македония, были известны с древних времен. Факты, которые ныне известны относительно месторождений и их происхождения, весьма недостаточны, и поэтому, прежде чем перейти к описанию общей картины, мы подчеркнем необходимость в более современных и систематических исследованиях.

Концентрация вышеупомянутых руд в районе Эгейского моря, так же как в соседних районах Македонии, Фракии, Фессалии, Аттике и т. д., приурочена к области развития метаморфических пород, заключающих крупные гранитные интрузии. В этих районах, так же как и по соседству с ними, обнаруживаются также более молодые вулканические центры. Альпийская складчатость здесь прекратилась раньше, чем в западной и южной Греции, и ее интенсивность была меньшей. Но, с другой стороны, так как этот район подвергался сжатию изнутри, изогнутая дуга Динаротаврийского хребта подверглась поднятию, за которым последовал интенсивный разлом и частичное погружение. В конце эоцена, повидимому, произошло внедрение гранитов, тогда как вулканическая деятельность протекала главным образом в неогене и в некоторых случаях продолжается и до настоящего времени.

В Греции имеются и более древние основные и ультраосновные изверженные породы, представленные крупными массивами

---

[1] G. Marinos.



Фиг. 81. Карта распространения руд свинца и цинка в Греции.

перидотитов юрско-мелового возраста, которые в основном развиты во внешней части метаморфических площадей и в небольшом количестве присутствуют на побережье Эгейского моря. Местами с ними связано свинцово-цинковое оруденение, но большого значения эти рудопроявления не имеют. К этому типу,

в частности, относятся, согласно Соломосу (1918), галенитово-сфалеритовые жилы с халькопиритом и кварцем района Абделла в западной Македонии, которые залегают в пределах перидотитового массива, серпентинизированного и нарушенного в более ранний (дорудный) период. Необычная связь свинцовых и цинковых руд в этом случае с ультраосновной магмой объясняется, как мы предполагаем, тем фактом, что перидотиты здесь часто проявляют магматическую дифференциацию вплоть даже до диоритов.

За исключением вышеупомянутых случаев, все свинцовые и цинковые месторождения находятся в метаморфических породах или близ контактов осадочных и изверженных пород. Число месторождений очень велико, но наиболее важными являются три рудных центра из числа известных рудопроявлений: 1) район Лавриона, 2) юго-восточная Македония (Халкидики-Пангеон) и 3) район вблизи Кирки в южной Фракии (см. фиг. 81).

Месторождения обычно представлены рудами сложного сульфидного типа с галенитом, сфалеритом и пиритом; местами присутствуют в составе руд минералы Cu, As, Sb, Fe, Mn, Ag, Au и менее часто минералы Ni, Co, Bi, Mo, Cd. Содержание свинца по сравнению с содержанием цинка варьирует в большей степени в различных месторождениях и в различных участках каждого месторождения. Свинец, в общем, более распространен, чем цинк, он ассоциирует главным образом с марганцовыми рудами. Сопровождающими жильными минералами являются кварц, барит, доломит, анкерит, глинистые вещества и иногда флюорит. Галенит, как правило, несет серебро с очень небольшим количеством золота, в то время как сфалерит иногда содержит кадмий.

Согласно Гунарису (1947), галенит Лавриона содержит в среднем 1500 *г* Ag и 3 *г* Au на тонну свинца. Согласно Тсаконасу, свинцовые руды Лавриона, добытые в течение 1938 г., содержали 12,8% Pb и 216 *г* Ag на тонну свинца, а сфалерит-пиритово-галенитовые руды содержали 8,3% Pb, 9,7% Zn и 0,07% Ag. Согласно Лиатсикасу (1947), в последние годы в Лаврионе эксплоатировались руды с низким содержанием металлов: Pb — 5—7%, Zn — 7—8% и Ag — 50—80 *г/т*. Согласно тому же самому автору, смешанные сульфиды Кассандра, Халкидики (Македония) содержат в среднем 5% Pb, 7% Zn, а сульфидные руды в районе Олимпиаса содержат 4% Pb, 5,5% Zn, 174 *г/т* Ag и 10 *г/т* Au. Согласно Гунарису, руда из района Кирка (западная Фракия) содержит 6—7% Pb, 5—8% Zn. На острове Миконос, согласно Горделласу, чистая свинцовая руда содержала 40—60% Pb и 2—3 *г/т* Ag.

Сульфидные руды обычно сопровождаются окисленными и карбонатными рудами. Смитсонит иногда концентрируется в месторождениях, содержащих сульфиды, например в Лаврионе и

на островах Тасос, Сифнос, Антипарос, Донусса и в других местах. Содержание Zn в них доходит до 60%; высокопроцентные руды интенсивно разрабатывались в прошлом, но в настоящее время руды имеют содержание цинка обычно ниже 25%.

В отношении происхождения рудного материала считают, что некоторые из месторождений генетически связаны с соседними гранитами (Лаврион, Халкидики) или с гранитами, находящимися где-то в глубине. Другие связываются с деятельностью неогеновых вулканов. Иногда наблюдается непосредственная связь оруденения с эффузивами, например в случае нахождения галенита в лавах (особенно в пропилитизированных) на островах Имброс, Патмос и др. В большинстве же случаев связь эта предполагается на основании положения месторождений вблизи вулканических центров, как, например, во Фракии и на островах Хиос и Сикладес и др. (Ктенос, 1923, Вореадес, Георгалас, Маравеллакис и т. д.).

Наши знания в отношении геологии, петрологии и минерализации гранитов ограниченны. В большинстве случаев большие гранитные массивы, повидимому, не сопровождаются сколько-нибудь значительным контактовым метаморфизмом и рудной минерализацией; эти процессы проявляются в связи с относительно небольшими по площади массивами. Согласно Освальду (1938), граниты, в частности граниты Македонии, внедрились во время среднего и верхнего миоцена, за исключением нескольких массивов, возраст которых предположительно карбоновый; последнее, впрочем, является мало вероятным. Согласно Мариносу (1942), граниты острова Иос подвергались во время складкообразования интенсивному динамическому метаморфизму и превратились в гранитогнейсы; последние ассоциируют с кристаллическими сланцами, филлитами, кварцитами и т. д. Подобные синтектонические гранитные формации, повидимому, существуют вдоль всего южного, центрального и северного побережья Эгейского моря. Крупные гранито-гнейсовые массивы, которые возникли из этих более древних гранитов, обычно сохраняют форму больших ядер, согласно окруженных слоями кристаллических сланцев или мраморов. Контактовый метаморфизм вокруг них незначителен или совсем не проявляется, что нельзя приписать тектоническим нарушениям. Металлоносные граниты, повидимому, являются более молодыми; к ним относятся граниты Лавриона, острова Серифос, Халкидики, Македонии и т. д. Эти граниты располагаются преимущественно в ядрах антиклинальных складок и обычно секут окружающие слои. Повидимому, их возникновение имело место в конце складкообразования и скорее всего во время неогена. Петрологическое исследование показывает, что эти массивы представлены не кислыми гранитами, а гранодиоритами и другими гранитоидами повышенной основ-

ности и характеризуются порфировидной структурой. Вблизи этих интрузий наблюдается интенсивная минерализация с образованием сульфидных руд, но связь оруденения с интрузиями, повидимому, не является непосредственной. Мы предполагаем, что эти гранодиориты являются продуктами дифференциации крупных интрузий, находящихся на глубине, из которых выделились и рудоносные растворы и материал вулканов более молодого возраста, как это будет показано дальше.

В качестве первого примера этих молодых интрузий мы упомянем гранит Лаврион Плака, который считался материнской породой рудной минерализации Лавреотики. Маринос утверждает (1937), что этот массив представляет собой послетектонический биотитовый гранодиорит порфировой структуры, имеющий ограниченное распространение. Он возник из другого крупного гранитного массива, расположенного на глубине, из которого произошли и руды Лавреотики и глубинные жилы роговообманкового гранит-порфира (эврит). Эти жилы непосредственно связаны с минеральными месторождениями, которые были известны еще в древности. Образцы из жил показывают типичную порфировую структуру с магматической коррозией; некоторые химические анализы устанавливают в составе гранит-порфиров небольшое количество марганца или цинка. С этой общей концепцией минерализации Лавриона согласен также и Путцер (1943).

Маринос утверждает, что гранодиорит появился в более позднее время или почти одновременно с минерализацией и вызвал контактовый метаморфизм с превращением пирита в пирротин в колчеданных (сфалерит-пирит-галенитовых) месторождениях, расположенных в зоне контактного метаморфизма, окружающей гранодиорит; при этом он считает, что наличие первичного гипотермального пирротина представляется маловероятным.

В рудном районе Халкидики в Македонии исследователи упоминают о присутствии гранодиоритов и порфировых изверженных пород. Ктенас утверждает, что, как показали последние исследования, рудоносная интрузия острова Серифос представлена гранодиоритом. На острове Икария, также по словам Ктенаса, находится крупный массив гнейсированных гранитов и относительно небольшой массив гранодиоритов более молодого возраста. В рудном участке острова Кос имеется массив диорита. Совершенно очевидно, что весьма необходимо произвести микроскопические исследования гранитных и гнейсовых пород Греции, для того чтобы выявить и другие стадии магматической дифференциации.

Лавы многочисленных вулканических центров района Эгейского моря обычно состоят из андезитов или дацитов и лишь в некоторых участках отклоняются к более кислым, щелочным или основным типам. Следовательно, и в лавах мы также

встречаем гранодиоритовый тип, и рудная минерализация, связанная с ними, объясняется подобным же образом.

Месторождения сульфидных руд свинца и цинка являются типичными представителями мезотермального и эпитермального класса. Они содержат кварц и барит. Некоторые из них принадлежат к гипабиссальному типу, но в большей части — к типу субвулканическому. Иногда наблюдается парагенезис пневматолитового типа. Форма, размер и генезис месторождений варьируют в значительной мере. Месторождения представлены жилами обычно небольшой глубины и реже импреньяциями; в мраморах, известняках и доломитах обычны месторождения замещения, которые часто располагаются в контактах мраморов с кристаллическими сланцами или гнейсами или иногда в контактах с гранитами или вулканическими породами.

Рудосодержащие горизонты повторяются в случаях переслаивания кристаллических сланцев и мраморов, как, например, в Лаврионе.

В районе Кирки южной Фракии имеются сульфидные руды с баритом и кварцем. По словам Лиатсикаса, они появляются в виде жил на контакте вулканических пород с эоценовыми песчаниками. Согласно Гунарису, эти месторождения приурочены к трещинам между известняком и непроницаемыми породами (осадочными и изверженными) и встречаются на протяжении многих километров.

Так же как в Лаврионе и в Халкидики, металлогенические растворы последовали за складкообразованием. Они проникли по радиальным сбросам в антиклинальные структуры вдоль их простирания и поперек его, причем отложение свинцово-цинковых руд совершалось в мраморах. Плоскости надвигов никогда не затрагивались рудной минерализацией.

Так как тектонические зоны северо-восточного и северо-западного направления являются основными в тектонике Греции, они весьма часто вмещают жильные месторождения.

В районах проявления пересекающихся сбросов и известняковой тектонической брекчии более богатыми, нежели сульфидные, являются карбонатные (смитсонитовые) формации.

В смитсонитовых месторождениях острова Тасос, первичное происхождение которых, согласно Спейделю (1929), связано с вулканической активностью третичного времени [1], Багетг (1947) различает два типа смитсонитов. Белый смитсонит с высоким содержанием цинка и низким содержанием железа залегает в известняках, в то время как красный смитсонит с низким содержанием цинка (14—18%) и высоким содержанием железа (4—9%)

[1] Гипогенная природа смитсонитовых месторождений здесь не доказана. (*Прим. ред.*)

встречается в брекчии известняков и не имеет пластовой формы. Багетт объясняет это предположением, что в случае красного смитсонита металлогенические растворы не прошли достаточно значительное расстояние, чтобы сбросить на своем пути железо. Мы полагаем, однако, что примесь железа идет за счет выщелачивания его из известковой тектонической брекчии [1].

Обычно, как это уже говорилось, месторождения свинца и цинка в Греции, заслуживающие наибольшого внимания, относятся к метасоматическому типу. Они обильны в известняках и редко встречаются в слюдяных сланцах и гнейсах, где наблюдаются преимущественно жилы ограниченного протяжения. При образовании этих жил также наблюдается влияние метасоматоза.

Согласно Тсаконасу, например, тонкие сульфидные жилы в Пилеоне, пересекающие слои кристаллических сланцев и мраморов, сразу меняют свой состав, как только они проникают в мрамор и переходят от пиритовых руд в свинцовые и цинковые руды. В районе восточного Халкидики в мраморах развиты свинцовые и цинковые месторождения с серебром, золотом и т. д., в то время как в амфиболитах наблюдается частичное разложение железо-магнезиальных силикатов с замещением и импрeньяцией их рудой (в данном случае пиритом). Катракис, занявшийся изучением этого вопроса (1938), описал гидротермальное изменение первичных амфиболитово-полевошпатовых кристаллических сланцев в кварцитовые породы с серицитом и каолином, в которых отложились пирит и барит. Позднее в некоторых участках в пиритовые руды проникли в небольшом количестве галенит и сфалерит и еще позднее — кварц, доломит и марганцовистый кальцит.

Минерализация каждого месторождения требует специального изучения ввиду огромного разнообразия местных условий образования субвулканических месторождений. Часто отмечается баритизация, анкеритизация и доломитизация, иногда замечается повторение оруденения в том же самом месторождении, как, например, по словам Спейделя (1929), это было установлено в районе Тасоса, изучением парагенезиса пирита — марказита, сфалерита — вюртцита. Что же касается окисленных и карбонатных руд, то по крайней мере часть из них, повидимому, одновременна с сульфидами. Это в особенности касается смитсонита, как сам Путцер об этом заключает, говоря о месторождениях Лавриона: в парагенезисе со смитсонитом часто отмечается сидерит и, согласно Багетту в Тасосе, наблюдается криолит.

[1] Отсутствие данных о форме нахождения железа в красных смитсонитах не позволяет сделать заключение о генезисе этих карбонатных руд. Если железо входит в состав лимонитов (отсюда и красная окраска), то это, вероятно, супергенные образования. (*Прим. ред.*)

Значительный практический интерес представляет изучение супергенных изменений. В минералогически богатых месторождениях Лаврнона было открыто более тридцати вторичных минералов свинца и цинка.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что поднятия гранодиоритов, руд и дацитовых или андезитовых лав, по всей вероятности, являются параллельными проявлениями той же самой магматической деятельности в неогеновое время. Если рассматривать гранодиориты как индикаторы интенсивной металлизации, то в таком случае можно ожидать дальнейшие открытия новых месторождений на площадях, таких, как Лаврион и Македония; возможность открытия новых богатых месторождений не исключена, но более вероятно, что будет найдено значительное число месторождений, размеры которых будут ограничены и которые будут приурочены к верхним горизонтам. Они будут варьировать по своему составу. В отношении острова Мелос, где руда поднялась до дацитовой лавы, возможно, играло существенную роль обилие хлора, как об этом свидетельствует присутствие хлорида серебра.

На основании наших современных знаний весьма трудно оценить запасы свинца и цинка в Греции, и это не является предметом обсуждения в данной работе. В отношении месторождений Лаврнона, Аттики и северо-восточной Македонии мы настроены весьма оптимистически, считая, что общее количество запасов руд с содержанием выше 1,5% свинца и пропорционального количества цинка достигает десятков миллионов тонн, не учитывая возможности открытия новых месторождений.

К такому заключению мы приходим на основании изучения геологических и геотектонических условий, типов месторождений и полученных данных об эксплоатации. До настоящего времени эксплоатировались наиболее богатые руды, т. е. руды, имеющие свыше 8% свинца, но совершенно не эксплоатировались, за очень небольшим исключением, окисленные карбонатные руды (исключая смитсонит). С другой стороны, примитивные разработки древних греков затрагивали лишь наиболее богатые участки, иногда оставляя незатронутыми руды с содержанием более 15% свинца, потому что эти руды были тесно перемешаны с цинковыми и железными рудами.

Из всего вышесказанного выявляется значение не только геологических и геофизических исследований, но и значение устройства оборудования для обогащения относительно низкопроцентных руд (с содержанием меньше 8% Pb и 15% Zn). В Лаврионе уже давно производилось обогащение руд с содержанием 7—8% Pb, 7—8% Zn и 50—80% *г/т* Ag путем флотации с превращением их в свинцовые концентраты с 80—86% Pb, а также в цинковые концентраты с 40—48% Zn. Даже скудные отвалы

древних работ обогащаются в настоящее время в богатые концентраты.

После интенсивной эксплоатации богатых участков смитсонитовых месторождений Лавриона и Тасоса остается еще большое количество известных более бедных участков (независимо от возможного открытия новых богатых районов). Эти «бедные руды», т. е. те, содержание в которых не превосходит 25%, обогащаются в Лаврионе до 36—38%. Согласно Багетту и другим, в месторождениях одного острова Тасос имеются сотни тысяч тонн достоверных запасов, так же как много миллионов тонн возможных запасов низкокачественной цинковой руды.

Первые опытные работы по обогащению низкокачественной руды из Эвбеи, северно-восточной Македонии и из других мест дали, согласно Катракису, весьма удовлетворительные результаты.

В конце концов мы отмечаем, что все рудопроявления свинца и цинка в Греции представляют аналогию с известными месторождениями других районов Европы и Северной Америки, как это показано в приводимой библиографии.

ЛИТЕРАТУРА

Baguette A., Les Gisements Calaminaires de Thassos. *Ann. Geol. de Pays Helleniques*, **1**, 1947.

Carrels M. R., The Mississippi Valley Type Lead — Zinc Deposits. *Econ. Geol.*, **36**, 729, 1941.

Gounaris E., The Mines of Greece. *Industrial Review*, 1947.

Katrakis St., Pyrite Deposits, East Chalkidiki. Athens, 1939.

— Beneficiation of Low Grade Ores of Greece. Athens, 1938.

— General Map of Ores of Greece. Athens, 1948.

Kordellas A., The Ore Riches of Greece. Athens, 1902.

Ktenas K., Minerals of Greece. Athens, 1923.

Liatsikas N. (and others), The Mineral Resources of Greece — UNRRA Edition — Athens, 1947.

Lindgren W., Mineral Deposits. New York and London, 1933.

Loughlin F. G., Comments on the Origin and Major Structural Control of Igneous Rocks and Related Mineral Deposits. *Econ. Geol.*, **36**, 671, 1941.

Marinos H., The Laureotitic Granite. Athens, 1937.

— L'ile de Ios. *Ann. Geol. d. Pays Hellenique*, **1**, 1947.

Oswald K., Geologische Geschichte von Griechisch — Nordmazedonien. Athens, 1938.

Putzer H., Die Erzlagerstätte von Laurium. *Ann. Geol. de Pays Hellenique*, **1**, 1948.

Raguin E., Geologie de Granite. Paris, 1948.

Schneiderhoehn H., Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. I. Jena, 1941.

Sofomos J., The Deposits of Copper of the Abdella, Macedonia District. Athens, 1918.

Speidel J., Geologie und Lagerstätte der Insel Thasos. Freiberg, 1928.

ПОЛЬША

Я. ЗВИЖИЦКИЙ [1]

СВИНЦОВЫЕ И ЦИНКОВЫЕ РУДЫ В ПОЛЬШЕ

Краткое содержание

Свинцово-цинковые месторождения Верхней Силезии залегают в формации раковинного известняка (мушелькальк) — мелководной морской фации триаса. Эти породы смяты в пологие складки и разбиты сбросами в течение саксонского периода нижней юры и сохранились в синклиналях Бытома, Вилькошин—Тшебиния и Хшанув, а также в синклинальной складке Тарновске Гуры. Рудоотложению предшествовала сильная доломитизация (особенно верхнего) волнистого и нижнего раковинного известняка. Руда прослеживается вдоль ясно выраженного благоприятного горизонта мощностью от 1,5 до 4,0 *м*. В Бытомской синклинали имеется второй рудоносный пласт, располагающийся в 12—15 *м* выше первого; в некоторых случаях минерализован и третий пласт, находящийся в 25—35 *м* над первым. Первичные минералы включают сфалерит, вюртцит, галенит, пирит, марказит и редкие As — Sb сульфиды. Предполагается, что все они телемагматического происхождения. Окисление привело к образованию галмейных руд (смитсонит—каламин—церуссит—лимонит).

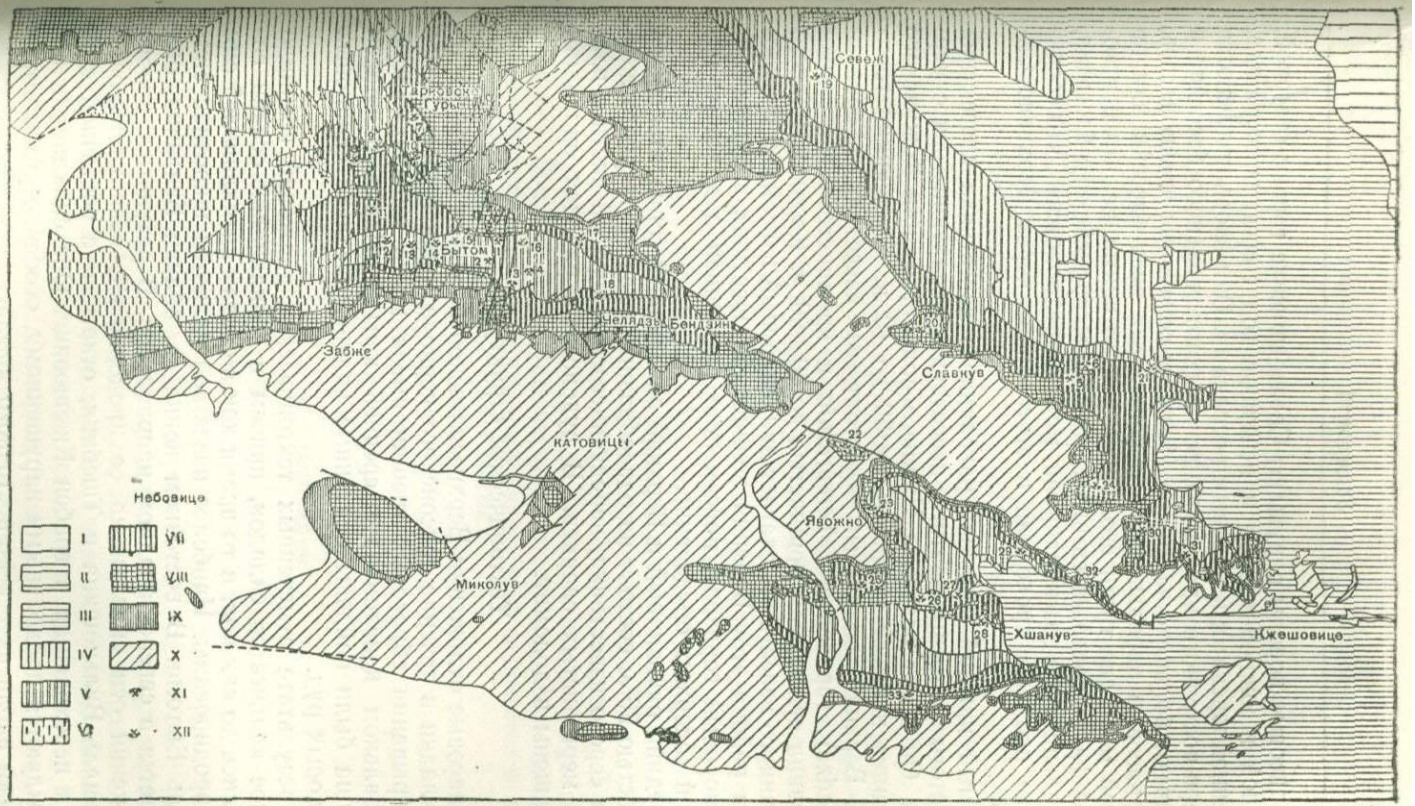
Введение

Небольшое количество бедных свинцовых и цинковых руд имеется в жилах среди палеозойских пород в Свентокшиских горах (Келецко-Сандомирский кряж) в центральной Польше. Жилы эти имеют лишь исторический интерес, так как давно уже выработаны. В настоящее время в Верхней Силезии и в прилегающей области имеется два главных центра добычи свинца и цинка. Со времени войны эти районы полностью принадлежат Польше. Рудные месторождения залегают в виде пластов в осадочных породах и относятся к хорошо известному и широко распространенному телемагматическому типу.

Рудоносные серии этого района относятся к среднему отделу триаса, так называемому раковинному известняку (мушелькальк), который, как правило, развивается в Средней Европе в мелководных морских фациях. Эта серия залегает на нижнем ярусе Пестрого, или Нового, красного песчаника и покрывается его верхним ярусом — кейперовским красным мергелем. Два последних горизонта имеют пресноводное или континентальное происхождение, за исключением самой верхней части пестрых песчаников свиты Рэт, состоящей из морских известняков и мергелей.

---

[1] J. Zwierzycki — профессор геологии Вроцлавского университета, Польша; прежде — директор Геологической службы голландской Ост-Индии.



Фиг. 82. Геологическая карта свинцово-цинковых руд Верхней Силезии. Составлено Геологическим комитетом Польши.

I—третичные отложения; *II*—меловые отложения; *III*—юра и рэт; *IV*—кейпер; *V*—верхний и средний раковистый известняк (известняки и доломиты); *VI*—известняки, нижний раковистый известняк, верхняя часть; *VII*—рудоносные доломиты, нижний раковистый известняк, верхняя часть; *VIII*—известняки; нижний раковистый известняк, нижняя часть; *IX*—пестрый песчаник; *X*—палеозой; *XI*—действующие рудники; *XII*—недействующие рудники.

Триасовые породы окружают Свентокшиские горы с северной, западной и южной сторон и исчезают под синклиналью Нида, сложенной юрскими и меловыми осадками. Они вновь появляются с северо-восточного края Верхнесилезского угольного бассейна и покрывают бóльшую часть его. Имеются основания предполагать, что триасовые породы когда-то покрывали весь бассейн или по крайней мере две трети его. Принимая во внимание, что в ископаемой фауне содержатся виды как среднеевропейского бассейна, так и альпийской геосинклинали, можно предположить, что соединяющие проливы проходили в этот период через Верхнюю Силезию.

Самый нижний горизонт раковинного известняка состоит из волнистого и трещиноватого известняка, чередующегося с мергелем. Он носит название Нижнего волнистого или Хожувского известняка и имеет мощность от 30 до 40 *м*. Следующий горизонт — Верхний волнистый — состоит из известняка Гораздзе (Gorazdze), горизонта с *Terebratula* и кремнистого известняка Карховица суммарной мощностью до 40—50 *м*. Кровлю Нижнего раковинного известняка слагает диплопоровый известняк. В рудоносном районе этот Верхний волнистый известняк, включающий диплопоровый горизонт, повсеместно превращен в доломит; последний содержит оруденение.

Средний раковинный и Верхний раковинный горизонты общей мощностью 26 *м* состоят из однообразных пластов твердого желтого и серого известняка, чередующегося в верхней части с пластами мергелистых сланцев. В рудоносных районах они часто превращены в доломит.

Тектонические структуры

Триасовые отложения Верхнесилезской площади смяты в мягкие складки в течение саксонского периода нижней юры. После приоткрывания сбросовых трещин имела место минерализация. В базальном конгломерате средней юры в Парче и вблизи Олькуша были найдены окатанные валуны и гальки свинцовых и цинковых руд.

В результате отмеченных тектонических движений возникло большое количество складок, причем в синклиналях осадки сохранились до сих пор, в то время как в сводах антиклиналей они были эродированы. Наиболее известной является широтная синклиналь Бытома. В восточном конце ее, вблизи Бендзина, она изгибается в северо-западном направлении. В результате нового погружения оси складки на ее продолжении возникает новая синклиналь Вилькошина и Тшебиня, открытая с восточной стороны и переходящая в грабен Кжешовице. Обе синклинали сопровождаются продольными нарушениями, особенно резко выраженными вдоль их северо-восточного крыла.

В Хшануве наблюдается другая синклиналь, которая, возможно, когда-то продолжалась до Миколува; она разветвляется в западном направлении. Северное крыло синклинали Хшанува переходит в параллельную систему нарушений.

К северу от Бытомской синклинали неясно выраженная депрессия Тарновске Гуры погружается в северном или северо-западном направлении. Юго-восточное крыло ее рассекается большим количеством сбросов северо-западного простирания, в результате которых произошли зигзагообразные горизонтальные смещения рудоносного волнистого известняка.

Севернее синклиналей Бытома и Вилькошин — Тшебиня от Тарновске Гуры до Кжешовице обнажаются каменноугольные породы. В этой антиклинальной зоне триасовые породы эродированы и лишь несколько фрагментов Пестрого песчаника и Нижнего раковинного известняка напоминают нам о существовавшем здесь ранее покрове. Вдоль северо-восточного крыла от Кжешовиц до Севежа триасовые отложения образуют моноклиналь и исчезают, в конце концов, под большой синклиналью Нида. Эта моноклиналь в действительности не такая простая, как она выглядит на карте, так как она состоит из целого ряда мягких вторичных поперечных складок и расчлененных блоков.

Резюмируя вышесказанное, мы можем отметить следующие тектонические структуры, имеющие значение в отношении распространения свинцовых и цинковых руд: 1) синклиналь Бытома; 2) синклиналь Вилькошин — Тшебиня; 3) синклиналь Хшанува; 4) депрессия Тарновске Гуры и 5) моноклиналь Кжешовице — Севеж. Все эти структуры пересекаются большим количеством сбросов, которые в большинстве своем были заложены в карбоне и омоложены в более позднее время.

Рудоотложение ограничивается перечисленными структурами. Область дальнейшего распространения свиты Раковинного известняка к западу по направлению к реке Одре или вокруг Свентокшиских гор лишена какой-либо минерализации.

Доломитизация

Первым этапом рудообразования явилось изменение известняка в доломит. О том, что доломитизация не является первичной, свидетельствует ее наибольшее развитие в рудоносных площадях. Доломитизированные породы имеют необычный состав и содержат лишь 15% MgO, но в них всегда присутствует около 3—5% Fe, 0,5—1,5% Zn, до 0,2% Pb и 0,5% Mn; по всей вероятности, все эти элементы находятся в карбонатных двойных солях. Наиболее доломитизированным пластом всегда является Верхний волнистый известняк. Он представляет собой трещиноватую породу, раздробленную и брекчированную в результате тектониче-

ских напряжений в процессе складкообразования. Раздробленные участки образовали волнистые, линзообразные чешуи, скользившие одна над другой в горизонтальном направлении; это привело к образованию своеобразной брекчии, очень пористой и проницаемой для воды и всех видов растворов.

Во время метасоматического превращения известняка в доломит вследствие большего удельного веса последнего некоторое пространство осталось свободным. Аргиллитовые примеси в известняке осадились и сконцентрировались в основании доломитизированной зоны в отчетливом горизонте мощностью около 20—40 *см*. Образованный таким путем непроницаемый, немного битуминозный, глинистый слой часто бывает покрыт выцветами кристаллов сульфатов железа и обычно называется «купоросной глиной». Этот слой глины явился нижним пределом циркуляции вод и минеральных растворов. Под ним доломит и руда отсутствуют.

Рудные месторождения

Главный рудоносный горизонт всегда находится в основании доломитовой зоны над купоросной глиной, образующей его лежачий бок. Руда нигде не имеет формы компактного рудного пласта. Рудные минералы выполняют трещины, образуют прожилки, несколько расширенные благодаря замещению, но они никогда не замещают пласт целиком. Во многих случаях минералы промышленного значения рассеяны в доломите и постепенно замещают его. Иногда руды образуют инкрустации и сталактиты, указывающие на их образование в ранее существовавших пустотах, но все же рудный пласт в основном поразительно четко подчинен хорошо обозначенному стратиграфическому горизонту. Вероятно, последний являлся особенно благоприятным для процессов замещения и рудоотложения.

Главный рудный горизонт. Этот главный или нижний рудный пласт почти всегда присутствует на рудоносной площади. В депрессии Тарновске Гуры рудный пласт имеет менее правильные очертания и ограничивается юго-восточным крылом. В синклинали Вилькошин — Тшебиня и в синклинали Хшанува рудный горизонт прерывистый и иногда принимает форму пятнистых плоских обособлений и линз. Лучше всего он развит вблизи сбросов и тектонических разломов. В восточной моноклинали Кжешовице — Севеж рудоносная зона залегает очень неглубоко и ограничена южной частью ее между Кжешовице и Славкувом. В этой части не наблюдается однообразного простирания и падения, но имеет место большое количество мелких складок второго порядка в очень волнистой нижней толще. Оруденение на этой площади не ограничивается обычным стратиграфическим горизонтом

Верхнего волнистого известняка, но распространяется также в Нижний волнистый горизонт; скопления руды были обнаружены даже в известняке рэтического горизонта Пестрого песчаника. Здесь находился очень мощный и богатый пояс вторичных руд, который почти совсем истощен разработками, продолжавшимися в течение ряда столетий.

Глубина залегания нижнего рудоносного пласта в каждой из перечисленных структур не превышает 100 *м* ниже современной поверхности.

Весьма неясно, представлял ли когда-либо главный рудоносный пласт непрерывный слой, соединяющий все выше указанные структуры, и находился ли он когда-нибудь над антиклинальной структурой между Тарновске Гуры и Кжешовицами и над антиклиналью между Забже — Катовице — Явожно. Бóльшая часть руды сконцентрирована в некоторых местах вблизи нарушений и трещин. Рудный пласт или пласты всегда показывают в таких местах значительное расширение и обогащение рудным материалом. В этой площади отрицательные формы (синклинали и депрессии) определенно более крупны, чем антиклинальные зоны.

Второй рудоносный пласт. В синклинали Бытома залегает второй рудоносный пласт на высоте от 12 до 15 *м* над нижним главным пластом. Он не так хорошо очерчен и не так богат. Между обоими пластами имеется также несколько соединяющих трещин, выполненных рудой. В руднике Ожел Бялы и Новы Ожел Бялы вблизи Шарлея верхний слой приближается к главному рудному пласту на расстояние 2—4 *м*; он рассматривается как верхняя часть одного утолщенного и однообразного пласта и разрабатывается совместно как единый горизонт. Второй рудный пласт проявляется лишь в тех местах, где верхний доломит подвергся более или менее отчетливому скалыванию. В основании второго рудного пласта не наблюдается глинистого горизонта, подобного горизонту купоросной глины.

Второй рудоносный пласт был также прослежен в синклинали Длугошин — Тшебиня, но там он чрезвычайно прерывистый и появляется на расстоянии 4—8 *м* над главным рудным горизонтом. В Хшанувской синклинали линзообразные рудные тела появляются в зонах дробления на расстоянии 20—30 *м* над главным рудным горизонтом. Распределение руды в депрессии Тарновске Гуры настолько неправильное, что различные линзообразные рудные тела находятся в различном расстоянии над главным пластом, причем закономерности распределения оруденения еще более маскируются процессами окисления. В моноклинали между Олькушем и Кжешовицами существование верхнего пласта было установлено во многих местах. Он появляется в тектонических

раздробленных зонах на расстоянии 10—25 *м* над главным пластом, но является невыдержанным по простиранию.

Третий рудоносный пласт. В средней части Бытомской синклинали на расстоянии 25—35 *м* над главным рудным горизонтом иногда проявляется третий пласт. Он никогда не имеет большего протяжения и связан различными жилами и выполнениями пустот со вторым и главным рудными горизонтами. Другой особенностью этой рудной зоны является абсолютно горизонтальное залегание ее, совершенно независимое от местного напластования.

Минеральные ассоциации

Минеральные ассоциации рудных месторождений этого типа весьма простые и состоят из сульфидов: сфалерита, вюртцита, галенита, пирита и марказита. Последовательность минерализации изучалась многократно. Она мало варьирует в различных частях рудного района. Большее количество галенита по сравнению со сфалеритом и вюртцитом было отмечено в краевых структурах: в депрессии Тарновске Гуры, вдоль моноклинали Кжешовице — Севеж и в южных частях синклинали Вилькошин — Тшебиня, а также в синклинали Хшанува. Преобладание сульфидов цинка отмечается в богатой Бытомской синклинали.

Последние тщательные микроскопические и общие исследования были произведены Ф. Вернике. В своей докторской диссертации Вернике устанавливает такую последовательность кристаллизации сульфидов: вначале довольно сильные щелочные растворы содержали только цинк, отложенный в виде сфалерита первой генерации; затем появились более сложные растворы второй генерации слегка кислого характера с Zn, Pb и следами As и Sb. Цинковые сульфиды во второй генерации осаждались преимущественно в виде гексагональной разновидности вюртцита, частично выполняющей трещины и образующей волокнистые почковидные руды. Затем началась кристаллизация галенита в пустотах и трещинах в доломите и вюртците. В эту фазу образуются очень редкие мышьяковые сульфосоли: иорданит ($4PbS \cdot As_2S_3$) и грейтонит ($9PbS \cdot 2As_2S_3$), а также сульфоантимонит свинца — менегинит ($4PbS \cdot Sb_2S_3$). В третью стадию произошло осаждение марказита и пирита, сначала в виде зеленоватого стебельчатого марказита, затем в виде желтого волокнистого почковидного пирита (вероятно, отложенного в виде геля из коллоидных растворов) и, наконец, в виде зелено-серого пористого губчатого пирита, образовавшегося путем замещения или выполнения пустот. В следующую стадию имела место инкрустация ранее выделившихся минералов кристаллами цинковой обманки и гале-

нита. Последняя стадия минерализации представлена галенитом, отложенным из нейтральных или слабо щелочных растворов.

Сфалерит обычно прорастается пиритом и содержит около 1% Fe. В западных структурах он содержит кадмий, причем местами присутствует редкий минерал гринокит (CdS). Серебро связано с галенитом.

Происхождение руд

Все металлоносные растворы телемагматического типа поднялись с большой глубины вдоль нарушений и трещин. Большинство нарушений в синклиналях Бытома и Длугошин — Тшебиня продолжается в карбоновые отложения. В угольных копях Шомбирки, Розбарк, Радзёнув и «Генерал Завадский» неоднократно встречаются трещины, выполненные галенитом и сфалеритом. Эти рудные жилы имеют небольшие размеры и не превышают нескольких дециметров, поскольку вмещающие породы, представленные сланцами и песчаниками, являются относительно менее благоприятными для замещения при низкой температуре. В местном музее Домброва и Гурнича выставлено несколько образцов галенита в прорастании с пиритом, собранных в угольных копях «Генерал Завадский» и Реден. Во время проходки шахт Иовиш и Андалузия у северо-восточного края Бытомской синклинали в трещинах среди Пестрого песчаника обнаружены сульфиды свинца и цинка.

Выходы окисленных руд

Рудные пласты у краев синклиналей и вдоль моноклинали Кжешовице — Севеж окислены на большую глубину. До отложения третичных и четвертичных образований эти участки были обнажены и подвергались выветриванию и эрозии. При этом сульфидные минералы были окислены; за счет сфалерита возник смитсонит и частично каламин; галенит превратился в церуссит, а пирит и марказит — в лимонит. Широко распространенный карбонат цинка, иногда с небольшой примесью каламина, называется в Верхней Силезии польскими рудокопами «галман», а немецкими — «галмей». Цвет его более чистых разновидностей белый и серый. При загрязнении железными окислами он проявляет все переходы окраски — от желтого и красного до коричневого.

Зоны галмея во многих местах имеют очень большую мощность, особенно вдоль восточных крыльев Бытомской синклинали и в олькушском участке моноклинали Кжешовице — Севеж. Здесь произошло не только окисление, но также и существенное обогащение за счет некогда присутствовавших, а теперь эродированных частей рудных пластов. Во время выветривания в гал-

мее концентрировался также и кадмий. Тот факт, что в циркулирующих водах цинк является более растворимым, чем железо, объясняет залегание довольно чистых железных руд над белыми галмейными рудами, почти совершенно свободными от железа.

Среди галмейных участков церуссит обнаруживается в форме желтых кристаллов или в виде массивной руды. В защищенных местах, не подверженных немедленному растворению, встречаются сульфаты и другие редкие минералы, как то: госларит ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), англезит ($PbSO_4$), тарновитцит ($(CaPb)CO_3$) и фосгенит ($PbCl_2 \cdot PbCO_3$).

Погребенная поверхность триаса

Поверхность триасовых отложений была глубоко затронута продолжительной эрозией в период от верхней юры до среднетретичного времени. В результате процессов растворения в известняках и доломитах образовалось большое количество пещер, пустот и воронкообразных впадин и появился ландшафт, подобный тому, который имеется в Динарских горах Северной Истрии.

В воронкообразных впадинах отложились красные глины (terra rossa), железные руды и латеритоподобные глины как продукты разрушения рудных месторождений. Во время неогена и четвертичного времени вся эта скалистая площадь покрылась песком, гравием и глинами, что привело к выравниванию рельефа до современной однообразной волнистой равнины.

Железные руды в многочисленных воронкообразных впадинах разрабатывались во второй половине XIX в., когда производство достигло необыкновенно высокого уровня. В настоящее время снова обращено внимание на глины ввиду большого содержания в них глинозема.

История разработок

Разработка в свинцово-цинковом районе началась очень рано. Первая попытка добычи серебра была предпринята вблизи Олькуша и вокруг Бытома в XIII в. Самые старые документы, свидетельствующие о рудниках Олькуша, относятся ко времени королевы Елизаветы, которая в 1374 г. дала жителям Олькуша привилегию эксплоатации рудника и урегулировала взимание налогов за его эксплоатацию. Первые законы, относящиеся к разработкам рудников Олькуша, так называемые «Statuta Montani Ilkusiensia», были опубликованы королем Александром в 1505 г. Первые свинцовые рудники были открыты вблизи Тарновске Гуры в 1519 г., и новые поселения и деревни соединились в горный город в 1526 г., в который допускались жить лишь поселенцы, принимавшие участие в горных разработках.

Общая добыча свинца рудников Олькуша исчислялась на основании записей того времени (за период 1549—1668 гг.) в 17 000 *т* свинца, 10 000 *т* окиси свинца и примерно 15 *т* серебра. Применяемые процессы плавки были примитивные и неудовлетворительные, так как плавильщики были не в состоянии извлечь более 33% свинца из 50-процентного свинцового концентрата. Отвалы и шлак, составленные за тот период, содержали в среднем 9% Pb.

Для удаления воды из рудников Олькуша были пройдены восемь штолен длиной в несколько километров. Первая из них была начата в 1517 г., вторая — в 1548 г. и последняя — в 1660 г.

В конце XIV в. в Тарновске Гуры был открыт галмей, ранее импортировавшийся из западной Германии и Бельгии для производства латуни. Вскоре он был обнаружен также в районе Олькуша и, таким образом, начался его экспорт из порта Гдыни в Западную Европу, приносивший большие прибыли. Галмей наряду со свинцом был главным предметом добычи до XIX в. Его добыча исчислялась в 100—200 *т* ежегодно.

Историками обычно упоминаются имена двух крупных предпринимателей работ района Бытома. Некто, по имени Давид Стиларский, арендовал несколько галмейных рудников 15 июля 1660 г., и затем Каспер Пильгжим начал добывать галмей в своем собственном имении Бобрек близ Бытома. В 1704 г. купец из Вроцлава, Георгий Гише, получил монополию добычи галмея от германского императора Леопольда I за предоставленные им значительные ссуды денег. Право на эту монополию удержалось за потомками Гише до 1812 г. и послужило началом больших верхнесилезских горных и металлургических предприятий, которые после первой мировой войны соединились с американской корпорацией Гарримана.

В 1808 г. был построен первый цинковый завод. Добыча цинковых руд получила новый импульс, и в 1825 г. производилось 54 000 *т* окисленного галмея, из которого извлекалось 12 000 *т* металлического цинка.

Производство галмея шло скачками и в 1862 г. достигло 280 000 *т*, из которых извлекалось 41 000 *т* цинка. Верхняя Силезия сделалась одним из крупнейших производителей этого сравнительно нового металла, экспортировавшегося даже в Индию и Китай.

В третьей четверти прошлого столетия запасы галмея начали проявлять признаки истощения и тогда на цинк стали разрабатывать сфалеритовые руды. Доля добычи цинка из сульфидных руд в 1870 г. составляла примерно 1% из общего количества добываемого цинка, в 1880 г. — 15%; в 1890 — 41; в 1900 — 63; в 1910 — 76; в 1920 — 86 и в 1930 — 90%.

В районе Олькуша за период 1813—1930 гг. было добыто около 4 000 000 *т* галмея с содержанием 16%, 400 000 *т* сульфидных цинковых руд с содержанием 13—23% Zn и 150 000 *т* свинцовых руд с содержанием 30—45% Pb.

Продукция Верхней Силезии по отдельным годам выражается в следующих цифрах: в 1850 г. — 25 000 *т* цинка, 350 *т* свинца и 500 *кг* серебра; в 1890 г. — 90 000 *т* цинка, 20 000 *т* свинца и 9000 *кг* серебра; в 1913 г. — около 190 000 *т* цинка, 40 000 *т* свинца и 7500 *кг* серебра (см. табл. 33).

Таблица 33

ДОБЫЧА ЦИНКОВЫХ И СВИНЦОВЫХ РУД ДО ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Год	Количество эксплоатируемых рудников	Производство концентратов		Количество действующих плавильных заводов	Выплавка металла	
		цинковой руды, *т*	свинцовой руды, *т*		цинка, *т*	свинца, *т*
1913	18	502 000	57 000	31	192 000	45 000

Запасы сфалерита начали уменьшаться после первой мировой войны, и для поддержания цинковой промышленности пришлось импортировать иностранную руду.

Согласно Малому статистическому ежегоднику Польши, 75 000 *т* цинковых концентратов и 136 000 *т* свинцовых концентратов было импортировано в 1938 г. преимущественно из Балканских стран.

После раздела Верхней Силезии в 1921 г. все цинковые и все свинцовые заводы и 70% горнорудных предприятий были отданы Польше, но главные рудные запасы Бытомской синклинали остались в Германии. Таким образом, немцы смогли в очень короткое время поднять производство цинка и свинца до того же уровня, на каком оно было в Польше.

Во время второй мировой войны производство чрезвычайно увеличилось во всех рудниках. Однако эти цифры размеров добычи неизвестны. Целый ряд богатых рудных столбов в польских рудниках, которые позволяли доводить содержание более бедных руд до среднего содержания цинка — около 14%, был в значительной степени исчерпан. Кроме того, рудничное оборудование и фабрики были сильно запущены и изношены; наконец, они сильно пострадали и от военных действий.

ГЕРМАНИЯ

Ф. БЕРЕНД[1]

ВКРАПЛЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦОВЫХ И ЦИНКОВЫХ РУД В ПЕСТРОМ ПЕСЧАНИКЕ НА СЕВЕРНОЙ ОКРАИНЕ ЭЙФЕЛЯ И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Краткое содержание

На северной границе Эйфеля, там, где седловина Высокого Венна доходит на север до линии Дюрен—Эшвейлер—Аахен, мезозойские осадочные породы, начиная от среднего Пестрого песчаника, трансгрессивно надвигаются на палеозойский массив в форме глубокого залива (бухты).

В этой бухте в самых нижних слоях Пестрого песчаника во многих местах расположены месторождения бедного серебром свинцового блеска, которые частично имеют промышленное значение. Эти месторождения вскрыты под Мехернихом, у Бешайда, южнее Блейбюира, на Каллер Штоллен и в области Маубах у Рура (Rur, Roer) в пластах песчаника и конгломерата.

Свинцовый блеск находится в песчанике в форме отдельных мелких кристаллов и агрегатов кристаллов диаметром от 1 до 6 *мм*, эти конкреции называют «узелками» («Knotten»). Цинковая обманка нередко образует очень мелкие кристаллики, иногда более мелкие, чем зерна песка, между которыми она находится. В пластах конгломерата между пластами песчаника свинцовый блеск образует гнездообразные грубозернистые выделения, цементирующие гальку.

По имеющимся данным, месторождения образовались не путем разрушения палеозойских рудных жил, растворения и повторного отложения перемещенных сульфидов, а в результате деятельности первичных восходящих рудоносных термальных растворов, которые, поднимаясь по трещинам от краев палеозойского массива, внедрялись в песчаник и в конгломерат. Следовательно, здесь мы имеем дело с первичными рудными образованиями.

Возникновение свинцово-цинковых месторождений округа Аахен—Штольберг, повидимому, относится к тому же времени.

Введение

В области среднего течения р. Рур палеозойские породы рейнских сланцевых гор выступают в виде клинообразного массива, идущего в северном направлении до линии Дюрен—Эшвейлер—Аахен; его ядро составляет кембрийская антиклиналь Высокого Венна. На западный край этого массива, сложенного кембрием, силуром и девоном, в районе Штольберга карбон надвинут на девон. На восточном крае массива, по направлению к нижней рейнской бухте, на палеозой надвигается мезозой, начиная со среднего Пестрого песчаника. Трансгрессионная поверхность имеет форму почти прямоугольного треугольника, клинообразная вершина которого расположена к юго-востоку от местечка Шлейден.

---

[1] F. Behrend, Берлин; в прошлом геолог Государственного ведомства исследования земных недр.

Основание проходит примерно через города Дюрен и Эускирхен. На более короткой юго-восточной стороне треугольника находится известное свинцово-рудное месторождение Мехерних, далее — небольшие заброшенные рудники Гуте Хоффнунг и Каллер Штоллен.

В северной части треугольника, там, где р. Рур пересекает границу между палеозоем и Пестрым песчаником у местечка Маубах, по обе стороны реки в песчаниках и конгломератах Пестрого песчаника залегают свинцовые месторождения, очень похожие на месторождения района Мехерних. Наряду со свинцовым блеском во всех этих месторождениях встречаются также цинковая обманка, медный колчедан и никельсодержащий пирит (бравоит); имеются здесь также продукты их превращения, в частности в самых древних осадочных породах эпохи Пестрого песчаника, состоящих из песчаника и конгломерата. Свинцовый блеск образует в песчанике более или менее равномерно распределенные единичные кристаллы или агрегаты кристаллов, росту которых в большей или меньшей степени препятствовал песок. Эти зерна имеют 1—6 *мм* в диаметре, находятся как бы во взвешенном состоянии в песчанике, не соприкасаясь друг с другом и всегда заключают в себе некоторое количество песчаных зерен. Горняки называют эти зерна «узлами» («Knotten»). Только в редких случаях, например на руднике Гуте Хоффнунг близ Бешайда к югу от Блейбюира, цементирующее вещество песчаника почти полностью замещено свинцовым блеском. Так образуется довольно плотная малопористая свинцовая руда, заключающая кварцевые зерна.

Медный колчедан, а в редких случаях также и никелевый пирит (бравоит) могут встречаться в виде конкреций в песчанике. В тех частях песчаных слоев, которые находятся под воздействием атмосферы, встречаются в виде продуктов превращения также конкреции рыхлой марганцовой руды, бурого железняка, церуссита, азурита и малахита. В линзах конгломератов крупнолистоватый кристаллический свинцовый блеск образует цементирующее вещество в гнездообразных и жиловидных участках. Местами этот свинцовый блеск превратился в церуссит. Как правило же, в конгломератах цементирующим веществом является песчано-глинистый материал.

Валуны, содержащиеся в конгломератах, состоят из кварцитов, граувакки, песчаников и жильного кварца, реже, известняка и доломита, источником которых являются примыкающие девонские отложения (жильный кварц, который мог бы рассматриваться как жильный минерал свинцово-цинковых жил и мог бы послужить материалом для образования рудных конкреционных месторождений, здесь не встречается). Едва ли присутствующий в составе галек кварц произошел из кварцсодержащих свинцово-

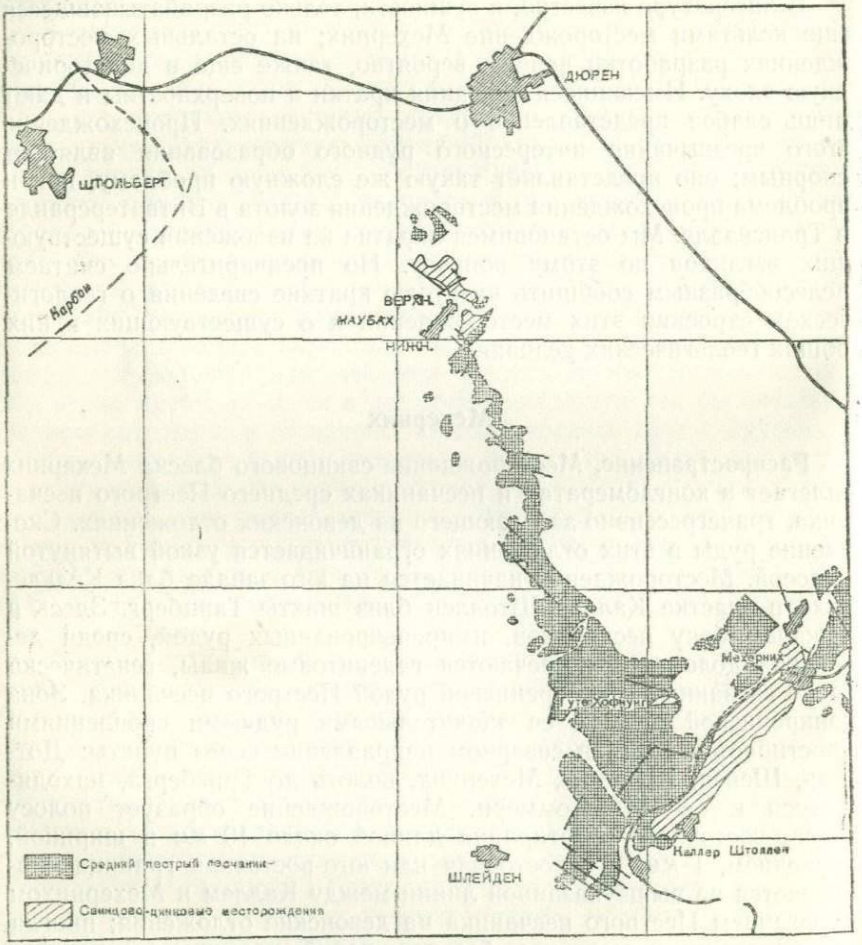
цинковых месторождений. Свинцово-рудные жилы в палеозое вокруг описываемых пластовых конкреционных месторождений находятся всегда в известняках и доломитах, причем кварц в виде жильной породы здесь не наблюдается.

В литературе известно, в сущности, только разрабатывавшееся еще кельтами месторождение Мехерних; на остальных месторождениях разработки велись, вероятно, также еще в доисторическую эпоху. Имеющиеся описания кратки и поверхностны и дают лишь слабое представление о месторождениях. Происхождение этого чрезвычайно интересного рудного образования является спорным; оно представляет такую же сложную проблему, как и проблема происхождения месторождения золота в Витватерсранде в Трансваале. Мы остановимся вкратце на изложении существующих взглядов по этому вопросу. Но предварительно считаем целесообразным сообщить читателю краткие сведения о геологическом строении этих месторождений и о существующих в них общих геологических условиях.

Мехерних

Распространение. Месторождение свинцового блеска Мехерних залегает в конгломератах и песчаниках среднего Пестрого песчаника, трансгрессивно залегающего на девонских отложениях. Скопление руды в этих отложениях ограничивается узкой вытянутой полосой. Месторождение начинается на юго-западе близ Кельдениха в участке Каллер Штоллен близ шахты Танцберг. Здесь в лежачем боку песчаников, импрельированных рудой, среди девонских доломитов встречаются галенитовые жилы, генетически тесно связанные с конкрециевой рудой Пестрого песчаника. Зона конкрециевой руды с ее значительными рудными скоплениями простирается затем в северном направлении через пункты: Дотель, Шевен, Штремпт, Мехерних, вплоть до Грисберга, находящегося к югу от Коммерн. Месторождение образует полосу северо-восточного простирания длиной около 10 *км* и шириной, в среднем, 1 *км*. Его восточная или юго-восточная граница обозначается на вышеуказанной линии между Каллем и Мехернихом налеганием Пестрого песчаника на девонские отложения; иногда это налегание нормальное, без нарушений, частично же контакт нарушен сбросами небольшой амплитуды. Северо-западная граница языковидной рудной зоны опущена по разлому; она установлена точно данными бурения. Трансгрессивное налегание Пестрого песчаника на девонские породы отмечено в основании базальными брекчиями, глинами и желтовато-белыми грубозернистыми, по большей части хрупкими, песчаниками с небольшим содержанием глинистого цементирующего вещества. Эти песчаники в юго-западной части рудной зоны содержат несколько про-

слоев светлоокрашенных конгломератов, которые прослеживаются, начиная от Кельдениха, через участки Вестфельд, Кальмуттер Берг и Тагебау Виргиния. Здесь мы встречаем всюду четыре



Фиг. 83. Схематическая карта распределения месторождений вкрапленных свинцово-цинковых руд в Пестром песчанике.

пласта песчаника; над каждым таким пластом залегает конгломератовый пласт. Граница висячего бока рудной зоны почти всегда обозначается конгломератовым пластом. Самый нижний пласт песчаника залегает непосредственно на девонских граувакках; в основании его иногда не содержится ясно выраженного конгло-

мерата, а встречается только промежуточный горизонт, состоящий из обломков выветрелой породы и глины. В большом карьере Бахревир, к востоку от Штремпта, четыре конгломератовых пласта постепенно сливаются в один. Последний образует висячий бок однородного пласта рудоносного (конкреционного) песчаника, простирающегося в северо-восточном направлении от Бахревира. Граница, отделяющая лежачий бок от девона, обозначается здесь на значительном расстоянии конгломератами.

Из четырех пластов, имеющихся в горных округах — Вестфельд, Шевен, Кальмуттер Берг, Виргиния, самым мощным является верхний (первый) пласт висячего бока; при этом он отличается особенно равномерным распределением руды. В нижних пластах оруденение во многих местах довольно неравномерное, особенно в лежачем боку. Над верхним (первым) конгломератом залегает верхний Пестрый песчаник. Он состоит из неравномерно перемежающихся красных и белых слоев песчаника с прослойками красного глинистого сланца. По направлению к висячему боку преобладает красная окраска слоев.

На участке Шафберг в штреке третьего горизонта в лежачем боку третьего пласта был встречен девон. Последний здесь был представлен граувакками и глинистыми сланцами. Пестрый песчаник залегает согласно, без ясно выраженного базального конгломерата. Собственно рудоносный пласт состоит главным образом из белого песчаника; прослоя глины между девоном и Пестрым песчаником не имеется. Близ основания в песчанике были найдены марганцовые конкреции с кристаллами гипса.

Верхняя поверхность девона местами волнистая, очевидно, в результате эрозии. Впадины этой поверхности были заполнены Пестрым песчаником, который в этих участках имеет значительно бóльшую мощность, чем на «гребнях» подземного рельефа (по направлению к висячему боку неровности вскоре выравнивались).

Рудоносность. Оруденение Мехернихского месторождения в основном ограничено светлыми песчаниками и конгломератами, составляющими нижние горизонты толщи Пестрого песчаника. Но в самом северном карьере Бахревира, кроме того, разрабатывался небольшой красновато-белый пласт с конкрециями свинцовой руды, залегавший более чем на 10 *м* выше первого конгломерата висячего бока. В том же горизонте оруденение разрабатывалось и в руднике Гуте Хоффнунг. В последнем участке конкреций, подобных тем, что наблюдались в Бахревире, не отмечено, но в то же время песчаник является сильно оруденелым. Под этим пластом в Гуте Хоффнунг находятся четыре пласта белого песчаника, в которых при бурении руды не оказалось, хотя они и подобны тем, которые в Мехернихе давали главную часть добычи свинцовой руды.

Руда констатирована также и в более молодых слоях, окрашенных в красный цвет и залегающих примерно в 30—35 *м* над конгломератом висячего бока (возможно, эти горизонты относятся уже к верхнему Пестрому песчанику); иногда в этих верхних слоях также встречаются конкреции свинцового блеска, но содержание руды здесь ниже промышленного.

Пласты песчаника не везде равномерно насыщены конкрециями свинцового блеска. В них зачастую встречаются участки, совершенно лишенные руды.

Равномернее всего руда распределяется в верхнем (первом) мехернихском песчаниковом пласте. Три следующих пласта, расположенных под ним в южной части рудного поля, очень неравномерно импрeньированы рудой и нередко на больших пространствах совершенно безрудны.

Содержание руды в песчанике, по направлению с юга на север, постепенно, но весьма заметно уменьшается. В южной части месторождения, в районе от Доттеля до района севернее участка Виргиния, содержание руды самое богатое (3%). В северной части Бахревира (на участке Шафберг) установлено явное уменьшение рудоносности (2%). В давно заброшенном участке Грисберг на севере разработка уже нерентабельна; к тому же находящийся здесь в небольшом количестве свинец в значительной своей части состоит из церуссита и пироморфита. Но при улучшении методов обогащения церуссит и пироморфит, вероятно, все же могут в некоторой их части обогащаться до промышленного содержания.

В большинстве случаев висячий бок отдельных пластов минерализован более интенсивно и равномерно, в то время как лежачий бок того же песчаникового пласта совершенно не содержит руды. Мощность «пустой породы» в отдельных пластах к северо-западной границе месторождения неуклонно нарастает.

В «первом» пласте висячего бока рудоносной свиты, к западу от дороги, в подземных выработках участков Виргиния и Шафберг рудоносность постепенно перемещается в висячий бок пласта, очень резко отграничиваясь от неоруденелого лежачего бока его. В самой верхней части пласта, на границе с перекрывающим его самым верхним конгломератом, рудоносность удерживается дольше всего во втором и третьем пластах; в частности, на участке шахты Шафберг оруденение по своей форме абсолютно таково же, как и в перекрывающих конгломератах. Оно представлено плоскими линзами, заходящими одна за другую и связанными рукавообразными ответвлениями. Здесь граница между рудоносной частью висячего бока и неоруденелой частью лежачего бока большей частью также очень резкая.

Эти рудные рукава и серии линз расположены в направлении потока рудных растворов и в наиболее проницаемых частях пла-

стов висячего бока. Их простирание совпадает в основном с общим север-северо-восточным направлением Мехернихского месторождения.

Некоторые участки подобных пластов несут оруденение по всей их мощности.

Как и в первом (верхнем) пласте, оруденение конгломерата, залегающего в висячем боку первого пласта, также отличается довольно равномерным характером. Местами — у Доттеля, особенно на горе Кальмуттер и на значительных площадях участка Виргиния — он содержит в промышленном количестве крупнозернистый свинцовый блеск, цементирующий гальки конгломерата. Содержание свинца на участке Бахревир довольно неравномерное.

Первый (верхний) пласт песчаника и первый конгломерат являются основными носителями руды в главной части рудного поля.

В глубоких выработках участка горы Кальмуттер, где разрабатывались пласты 1—3 с богатым оруденением, особенно интересным оказался третий пласт. Во многих местах он содержит крупные и мелкие песчаниковые линзы, окрашенные благодаря присутствию в них окислов марганца в черный цвет и заключающие конкреции свинцового блеска; наличие конкреций свинцового блеска отличает эти линзы от подобных же обогащенных марганцем песчаников, известных в других частях месторождения, но обычно содержащих лишь следы свинца. Далее нередко встречаются участки пластов, которые вместо конкреций свинцовой руды содержат конкреции окислов марганца, причем последние по своей форме совершенно подобны конкрециям свинцового блеска.

Грубые включения свинцового блеска и жилы значительного протяжения встречаются близ трещин в безрудных песчаниках. В карьере горы Кальмуттер свинцовый блеск местами находится в конгломерате висячего бока, где он цементирует гальку, замещая глинистый цемент, и нарастает в пустотах на гальках в виде кубических кристаллов. Эти включения и гнезда свинцового блеска часто бывают связаны с трещинами и иногда пересекают раздробленную гальку. Крупных непрерывных рудных тел здесь не существует — между отдельными гнездами находится много пустых участков.

В виде слабых налетов на гальке здесь встречаются также церуссит и пироморфит.

Вблизи небольших нарушений и трещин можно наблюдать обогащение конкрециями свинцового блеска (и увеличение размеров конкреций) по сравнению со средним содержанием руды в пластах песчаника. Во многих трещинах обнаружены даже плотные корки конкреций свинцового блеска, в то время как сам

песчаник по обе стороны трещины в пределах полосы шириной от 1 *м* и более может быть совершенно безрудным. Следовательно, здесь имела место миграция свинцового блеска из песчаника по направлению к краям трещины, между тем как близлежащие зоны выщелачивались.

Стенки сбросовых трещин часто бывают покрыты твердым гладким налетом кремнекислоты (иногда кварц, реже халцедон), который нередко несет «штрихи скольжения», обычно вертикальные, а иногда и приближающиеся к горизонтальным.

В южной части горы Кальмуттер песчаник в первом (верхнем) конкреционном пласте окрашен в красный цвет. При этом никакого различия в отношении рудоносности между частями пласта, окрашенными в красный и белый цвет, отметить нельзя.

Часто, особенно в висячем боку первого пласта, встречаются более крупные конкреции, внутренняя часть которых состоит из церуссита, а наружная — из свинцового блеска; их называют «мантель-конкрециями» («конкреции в плаще»).

В поверхностных выходах руд конкреции свинцового блеска часто превращаются в церуссит, например в южной части горы Кальмуттер. Местами руда полностью выносится выщелачивающими растворами. Отдельные вертикальные трещины в слоях конгломерата содержат груболистоватый свинцовый блеск. Руда здесь всегда приурочена к слоям, находящимся непосредственно над песчаником лежачего бока, и никогда не проникает внутрь его.

В карьере Виргиния, в одном водоносном горизонте, обильно пронизанном бурым железняком, во втором (конгломератовом) пласте прослеживаются церусситовые прожилки, ориентированные перпендикулярно к простиранию месторождений, а значит в направлении течения подземных вод. Отложение свинцовой руды становится благодаря этому особенно наглядным.

На южной стороне карьера Виргиния в 1924 г. во втором сверху пласте конгломерата был вскрыт пласт песчаника мощностью около 0,5—1 *м*, содержащего довольно хорошо сформированные кубические кристаллы свинцового блеска. Эти кристаллы выросли здесь не в трещинах, как это бывает обычно, а в песчанике. Зерна песка мало мешали их росту, и они оказались заполненными песчаными частицами. Этот пласт прослеживается также на участке Бахревир и на руднике Гуте Хоффнунг у Дотеля.

В третьем конгломерате, в многометровой широкой зоне, были обнаружены вертикальные жилки свинцового блеска толщиной в палец, пронизывающие весь конгломератовый пласт, причем они не представляли цемента, связующего гальки.

Содержание свинца в конкреционных пластах Мехерниха колеблется в пределах от 1,6 до 3,2%.

Запасы. Запасы руды в месторождении еще и сейчас велики — они составляют предположительно более 500 000 *т* свинца. Цинк в Мехернихе не добывается. Количество цинка, еще содержащегося в песчанике, должно быть здесь значительным.

Каллер Штоллен

Жилы в девоне. Старый рудник Каллер Штоллен (шахта Танцберг) особенно интересен и, повидимому, важен в генетическом отношении, поскольку в нем разрабатываются не только зоны импреньяции в Пестром песчанике, как это имеет место в Мехернихе и Маубахе, но и свинцово-рудные жилы в девоне.

Рудное поле граничит на юго-западе с большой концессионной областью Мехернихского объединения. Оно расположено между местечками Каль, Хайстерт, Кельдених и Шлиссенмаар, на краю горы Кельдених.

Шахта Танцберг, расположенная в восточном конце рудной площади, заложена в девонском доломите, однако главная часть шахтного поля лежит почти целиком в области отложений среднего Пестрого песчаника.

По Бейшлагу [1], доломит повсюду резко отделен от примыкающего к нему с севера девонского известняка широкой трещиной, заполненной глинистым веществом. По трещинам и зонам дробления, которые частично следуют простиранию и падению доломитовых слоев, располагаются в доломите свинцово-рудные тела, разработка которых может частично окупаться до горизонта 110 *м*. Ниже этой глубины рудоносность быстро уменьшается, так что для более глубоких поисковых работ здесь нет достаточных оснований.

В плотном, не разложившемся доломите вдоль многочисленных трещин была обнаружена мелкая вкрапленность свинцового блеска. Местами последний образует тонкие прожилки. Такие участки большей частью нерентабельны.

Но часто вдоль трещин доломит вблизи поверхности (и местами до глубины 70 *м*) сильно раздроблен; вдоль крутопадающих трещин в нем образуются неправильные пустоты до 25 *м* шириной, заполненные песком и остаточной глиной. Эти продукты разрушения содержат в себе свинцовый блеск в виде жилообразных выделений и крупных кубических кристаллов, то разрозненных, то образующих срастания. В верхних горизонтах они местами сильно корродированы, покрыты церусситовыми кристаллами и представляют собой типичную картину глубинной части окисленной зоны. На поверхности встречаются, кроме того, выветрелые железные и марганцовые гидроокиси, представляющие как бы железную шляпу этих кратерообразных зон.

[1] См. *Zeitschr. für prakt. Geol.* (1919), стр. 8.

Глинистых оторочек и зальбандов в этих рудных зонах не наблюдается.

Описанные нами рудные тела должны рассматриваться только как вторичные зоны обогащения первичных непромышленных жилообразных зон импреньяций в доломите, возникшие путем растворения и переотложения руды под влиянием вадозных вод.

Импреньяции в Пестром песчанике. Слои Пестрого песчаника, несогласно перекрывающие доломиты, начинаются глинистыми продуктами выветривания, доломитовой брекчией, голубым глинистым сланцем, песком и местами загрязненным землистым магнитным железняком. Выше следуют, как обычно, слои светлого грубозернистого песчаника и конгломерата. Слои эти падают под углом 6—10° на север-северо-восток, между тем как доломит падает круто на юг. Граница формаций проходит в северо-восточном направлении и падает под углом 20° на северо-запад.

Свинцовый блеск встречается в виде гнезд и друз в отдельных местах приграничного слоя мощностью 0,8—1 *м*, состоящего из песка, обломков доломита и голубой глины; частично он образует мелкую вкрапленность в основной массе, которая местами, повидимому, содержит до 12% свинца.

Везде, где в трансгрессивном базальном горизонте Пестрого песчаника встречаются подобные гнезда свинцового блеска, наблюдались тонкие прожилки галенита, проникающие в плотный доломит лежачего бока.

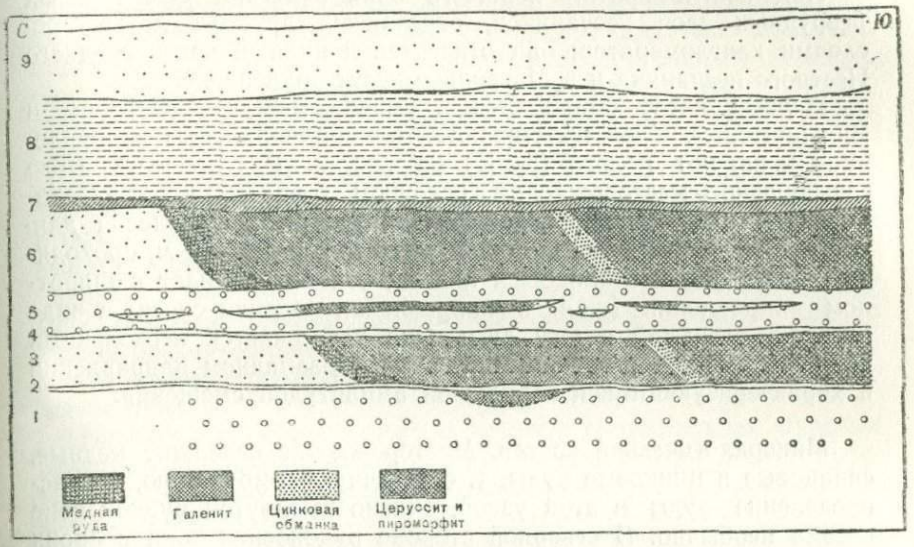
Песчаниковые слои Пестрого песчаника, который относится к тому же горизонту, что разрабатывается и в Мехернихе, содержат свинцовый блеск в виде конкреций, но редко в промышленном количестве; свинцовый блеск имеется также в конгломератовых слоях наряду с церусситом; местами он образует обильный цемент между гальками.

На горе Кельдених, в висячем боку песчаниковой зоны, прослеживаются два пласта красного глинистого сланца, которые местами достигают мощности в 5 *м* и отделены один от другого песчаником. Эти пласты содержат конкреции и линзы более крупных размеров и обильно импреньированы плотным церусситом. Такие конкреции называются горняками «*глинистой рудой*», так же как и в месторождении Маубах. Месторождения в старину довольно интенсивно разрабатывались мелкими шахтами.

Шахта Гуте Хоффнунг у Бешайда

Стратиграфия. Своеобразное, генетически трудно объяснимое распределение руд обнаруживает принадлежащая Браубахскому металлургическому заводу и покинутая в настоящее время

шахта Гуте Хоффнунг; последняя расположена приблизительно в 6 *км* западнее Мехерниха, около 300 *м* южнее деревни Блейбюир и в 150 *м* к северу от поселка Бешайд. Рудное тело



Фиг. 84. Меридиональный разрез через рудное тело рудника Гуте Хоффнунг.

1—конгломераты и песчаники мощностью 40—50 *м*, подстилающие рудную зону; *2*—красная сланцеватая глина 0,3 *м*; *3*—нижний пропласток рудоносного песчаника 3 *м*; *4*—сланцеватая глина 0,5 *м*; *5*—конгломерат 1—2,5 *м* с линзами рудоносного песчаника; *6*—верхний пропласток рудоносного песчаника 4—6 *м*; *7*—белые глинки с $PbCO_3$ 0,1—0,4 *м*; *8*—красная сланцеватая глинка 6—8 *м*; *9*—красный песчаник с пироморфитом 4 *м*.

залегает в двух песчаниковых слоях, в горизонте красного песчаника висячего бока «главной» (средней) толщи Пестрого песчаника.

В рудном округе наблюдается следующий разрез:

Висячий бок: 4—8 *м* красной глины (глинистых сланцев). 0,1—0,4 *м* белых глинистых сланцев, импрельированных церусситом.
Первый пласт: 6 *м* красного песчаника, осветленного в рудной зоне
Прослой конгломерата: 0,5—2,5 *м*
0,5 *м* глинистого сланца
Второй пласт: 3 *м* песчаника, красноватого, осветленного в рудной зоне
0,1—0,3 *м* красных глинистых сланцев
Лежачий бок: 40—50 *м* конгломератов и песчаников в лежачем боку рудной зоны, частично рудоносных

Этот разрез относится к верхней части среднего Пестрого песчаника.

Над красными глинами висячего бока в разведочной штольне между Вильшпютцем и Бешайдом был вскрыт еще один

4-метровый слой красного песчаника с тонковкрапленным пироморфитом и с содержанием свинца от 4 до 5%, но из-за трудности обогащения эта руда не разрабатывалась.

Под конгломератом лежачего бока залегают еще 4 белых безрудных слоя песчаников, отделенных друг от друга прослоями конгломератов; они относятся к нижней части среднего Пестрого песчаника и в Мехернихе несут оруденение.

Первый пласт обнажается в долине между Блейбюром и Вильшпютцем. Слои простираются в меридиональном направлении и падают полого (5—7°) на восток. Рудоносность этого своеобразного месторождения в основном ограничена узкой рукавообразной или языкообразной сильно удлиненной полосой длиной от 900 до 1000 *м* и шириной всего только 30—50 *м*, проходящей через оба песчаниковых пласта; эта полоса идет в широтном направлении (т. е. в направлении падения слоев) в виде плоской, открытой к югу дуги. Она пересекается несколькими нарушениями, простирающимися в северо-западном направлении и характеризующимися небольшой амплитудой смещения.

Минералогический состав. Месторождение содержит медные, свинцовые и цинковые руды, т. е. обычную комбинацию, но распределение руды в этой узкой, сильно вытянутой рудной зоне весьма необычно. В северной стороне рудоносная зона в обоих пластах резко отделяется от неоруденелого песчаника; в южной же стороне, наоборот, эта зона постепенно переходит в безрудный песчаник.

Медные руды, свинцовый блеск, церуссит и цинковая обманка распределены в этом узком рудном участке не беспорядочно, а закономерно: руды различного состава образуют узкие параллельные полосы (зоны), простирающиеся в широтном направлении вдоль длинной оси рудного тела и относительно резко отграниченные друг от друга. Но ни одна из этих границ, падающих под углом 30—50° на юг, не обусловлена тектоникой.

В верхнем песчаниковом пласте оруденение имеет более правильную форму и большее распространение, чем в нижнем.

Безрудный красный песчаник обоих слоев, который горняки называют «фуксштос», переходит довольно резко в сторону осветленного песчаника; эта зона на ширину от 1 до 1,5 *м* импрeньирована медной рудой. В свежей породе медные руды, главным образом медный колчедан, едва заметны, но очень скоро в выработках по стенкам они начинают выступать в виде ясных пестрых голубых и зеленых выцветов красной медной руды, азурита и малахита. Так как здесь азурит зачастую преобладает, то эта пограничная полоса носит название «голубой зоны».

С юга к ней примыкает с нерезким переходом зона, шириной приблизительно 8—10 *м*, импрельнированная свинцовым блеском; она минерализована довольно равномерно на всю ее мощность. Песчаник здесь содержит не конкреции свинцового блеска, а тонкие, равномерно вкрапленные кристаллы, местами служащие цементом песчаника, так что порода представляется довольно однородной. В трещинах в этой зоне встречаются церуссит, англезит и пироморфит. Содержание свинца местами достигает 30%.

К этой богатой свинцовым блеском зоне по простиранию (т. е. по направлению к югу) примыкает местами такая же зона и почти такой же ширины, в которой песчаник немного меньше импрельнирован свинцовым блеском (15—25% Pb).

Затем идет полоса шириной 1,5—2 *м*, в которой наряду со свинцовым блеском появляется цинковая обманка, причем иногда она преобладает. Цвет породы здесь скорее серый; содержание свинца снижается до 10% и менее; кроме свинца, содержится цинк.

Наконец, на южной стороне имеется сравнительно широкая полоса, в которой песчаник содержит мелкие вкрапления церуссита. Но эта минерализация постепенно исчезает по направлению к югу, переходя без всякой границы в неоруденелый обесцвеченный песчаник, неясно импрельнированный пироморфитом. Церусситовая зона разрабатывается только там, где в песчанике содержится по меньшей мере 10% Pb.

Своеобразный рудный рукав на северной границе имеет ясный, довольно резко выраженный зальбанд из медных руд; на южной границе такого зальбанда нет.

Все перечисленные здесь зоны довольно равномерно прослеживаются по всему простиранию месторождения с запада на восток. Второй пласт, залегающий под верхним пластом и промежуточным конгломератом и слоем глины, минерализован не так равномерно, как верхний. Но рудная зона по своему простиранию и падению довольно точно следует за рудной зоной первого пласта.

Руды, подобные тем, которые встречаются в галенитовой зоне первого пласта, залегают здесь гнездообразно, и ширина их нигде не превышает 4 *м*. Зона цинковой руды в большинстве случаев почти полностью отсутствует, и на юге церусситовая зона примыкает к зоне свинцового блеска.

Содержание руды в «рудном рукаве» в обоих песчаниковых слоях постепенно, но вполне отчетливо и неуклонно снижается к югу. Во внешней части церусситовой зоны, расположенной у южной границы, по мере снижения содержания руды появляется пироморфит. Горняки при разработке этих руд руководствуются следующим эмпирическим правилом: если в руде

присутствует свинцовый блеск, то это значит, что в ней содержится Pb 30%, если церуссит, то — 10—15%, и наконец, если пироморфит, — то менее 10%.

Под вторым пластом в лежачем боку сначала следует слой красной глины мощностью 0,1—0,3 *м*, а под ней мощный слой конгломерата. Последний содержит местами в качестве цемента свинцовый блеск, причем главным образом в тех местах, которые расположены под галенитовыми гнездами второго пласта. Там же находятся медные окислы и карбонаты.

В конгломератовом слое между обоими песчаниковыми пластами залегает песчаниковая линза площадью 1200—1500 *кв. м* и мощностью 1,5 *м*, сильно импреньированная конкрециями. В сланцах висячего бока первого пласта наблюдается импреньяция верхних минералов.

Большие количества церуссита и пироморфита не разрабатывались из-за несовершенства применявшихся в то время способов обогащения.

Маубах

История. Горное дело в Маубахской области начинает свою историю еще в глубокой древности, вероятно, от кельтского периода до римского владычества, и имеет за собой позади целый ряд периодов разработки. В настоящее время это месторождение принадлежит Штольбергской компании, которая детально его исследовала уже в 1860—1870 и в 1903—1905 гг. Последние углубленные разведочные работы проводились компанией для практического использования месторождения во время второй мировой войны.

Стратиграфия. Так же как и в округе Мехерних, в окрестностях Маубаха на Руре свинцовые руды связаны с конгломератами и песчаниками средней толщи Пестрого песчаника, которые здесь достигают приблизительно 30—50 *м* мощности и трансгрессивно залегают на нижнем девоне. Средняя толща Пестрого песчаника имеет в основании осветленную базальную брекчию, материал которой заимствован поблизости; мощность ее достигает в среднем 0,5—3 *м*. В висячем боку к остроугольным обломкам примешиваются мелкие гальки кварцита. Над ними залегает 6—8-метровый слой конгломерата со светлым песчано-глинистым цементом. Галька бывает чаще всего величиной с орех, но иногда с яйцо. Конгломерат содержит неравномерные, линзообразные, местами правильные слоистые прослои средне- и грубозернистого белесоватого песчаника.

Над этим базальным горизонтом следует светлоокрашенный грубый конгломерат с валунами диаметром до 20 *см*; он перекрыт конгломератом и брекчией с красным песчано-глинистым

цементом. Общая мощность этих слоев достигает приблизительно 40 *м*.

Таким образом, выявляется следующий разрез (см. табл. 34).

Таблица 34

СТРАТИГРАФИЯ РАЙОНА МАУБАХА

Верхний Пестрый песчаник	Темнокрасный песчанистый сланец и глинистый песчаник
Средний Пестрый песчаник мощностью около 40 *м*	Красный конгломерат с красным песчано-глинистым цементом, перекрытый брекчией и содержащий ее включения
	Крупногалечный светлый конгломерат
	Мелкогалечный конгломерат со светлым песчано-глинистым цементом с прослоями и с включенными линзами светлого песчаника
	Брекчия сланцев (выветрелая щебенка)

Залегающий выше темнокрасный глинистый песчаник с включениями песчанистого глинистого сланца обыкновенно причисляется уже к верхнему Пестрому песчанику. Проведение этой границы, конечно, довольно произвольно.

Пестрый песчаник, покоящийся на плоско-волнистой поверхности палеозойской подошвы, падает под небольшим углом в основном на север-северо-восток, в области же больших каменоломен, расположенных юго-западнее Лангенбройха, — на восток-северо-восток. Он перерезан многочисленными нарушениями, имеющими лишь местами значительную амплитуду. Граница между Пестрым песчаником и нижним девоном в этой местности нередко тектоническая. Поэтому наблюдать надвиги можно почти исключительно в выработках.

Распределение песчаниковых включений в рудоносной конгломератовой зоне большей частью неравномерно, а потому точно идентифицировать определенные горизонты затруднительно. Исключение из этого правила составляют песчаниковые слои в области между Штрассом, Хормом и Лангенбройхом.

Рудоносность. Рудоносность ограничивается зоной, находящейся в лежачем боку красного конгломератового горизонта, как

и в округе Мехерних, но здесь она гораздо менее равномерна, чем там. Участки с содержанием Pb до 12% и более нерегулярно перемежаются с участками, бедными рудой, а также такими, в которых обнаруживаются лишь следы свинца. Особенно богаты рудой песчаниковые включения в нижнем конгломерате, но местами и в самих конгломератовых пластах имеются участки хорошей сливной руды. Трещины нарушений чаще всего безрудны. Песчаник и конгломерат с глинистым цементирующим веществом почти всегда обнаруживает лишь следы свинцового блеска.

Смена богатых и бедных свинцом участков, повидимому, обусловлена в первую очередь быстрым изменением петрографического характера цемента песчаника. Кремнистый и глинистый цемент зачастую перемежается в одном и том же пласте; нередко наблюдаются местные скопления гальки в горизонтах песчаников.

На одном небольшом участке, севернее дороги из Лангенбройха в Хорм, на севере рудоносной площади («округ Юзеф», «Usief-Bezirk») имеются два свинецсодержащих пласта песчаника мощностью приблизительно 10 *м*, отделенные друг от друга слоем конгломерата. Эта зона расположена в большей своей части под покровом верхнего Пестрого песчаника. Везде, где эта верхняя толща размыта и на поверхность выходит средний Пестрый песчаник, верхняя залежь более или менее полностью эродирована, так что налицо только нижняя залежь, т. е. нижний песчаниковый пласт. Такая картина наблюдается очень часто, так что многочисленные, ранее эксплоатировавшиеся шахты находятся исключительно в «однопластовом районе».

По направлению с юга на север рудоносность, повидимому, немного увеличивается.

В небольших рудных районах, в окрестностях Маубаха, содержание свинца в песчанике и в конгломерате настолько велико, что здесь с давних пор время от времени возвращаются к горным разработкам. Начало этих разработок восходит еще к доримской эпохе.

Самый, повидимому, важный из этих мелких округов расположен в окрестностях Куфферта, Хорма, Штрасса, Бильштейна, Бергхайма и Лангенбройха. Зачастую этот округ называют «округ Юзеф». В карьерах Берцбюир (около 2 *км* к западо-юго-западу от Лендерсдорфа) разрабатывались слои конгломерата, содержащие свинцовый блеск; эти слои залегают в том же горизонте, что и в месторождении Блейберг (Маубах).

На правом (юго-восточном) берегу Рура также выходят на поверхность слои среднего Пестрого песчаника, которые слагают верхнюю часть горы Маузауэль; они залегают на цоколе глинистых сланцев и песчаников нижнедевонского Зигенского уступа.

На северо-западном склоне горы, западнее деревни Леверсбах, в песчаниках имеются также конкреции свинцового блеска, в количествах, иногда достаточных для рентабельной разработки. Наряду со свинцовым блеском в песчанике имеется вкрапленность малахита и азурита.

Слои конгломерата здесь включают в себя прослои красных глинистых сланцев, содержащих конкреции плотного азурита. В одном из слоев красного глинистого сланца находятся конкреции плотного церуссита, пронизанного глиной, называемые горняками «глинистой рудой» («Lehmerz»).

Содержание свинца сильно колеблется от пункта к пункту, от следов до 30%; в среднем содержание свинца может быть принято равным от 2,8 до 3%.

Песчаники свинцово-рудной зоны, как и в Мехернихе, содержат здесь цинковую обманку. Содержание цинка не зависит от количества свинца в песчанике и, как показали анализы, в среднем оно бывает обычно меньше 1,5%.

Так, отдельные, специально взятые пробы из разведочных шахт дали:

Свинец, %	Цинк, %
8,56	1,09
9,26	0,05
8,16	0,74
3,20	1,80
3,01	0,47
2,30	0,23

Здесь, как и в Мехернихе, цинковая обманка распылена в виде очень мелких кристалликов и агрегатов кристаллов в цементе между кварцевыми зернами песчаника. Нам неизвестно, содержится ли цинковая обманка также и в слоях конгломерата.

Кроме свинца и цинка, в слоях песчаника и конгломерата в небольшом, недостаточном для разработок количестве содержится медь; первоначально она находилась здесь в виде медного колчедана, к настоящему времени превратившегося в азурит и малахит. Наконец, в рудах имеются кобальт (в среднем 0,2%) и никель (в среднем 0,1%), вероятно, входивший первоначально в бравоит.

Запасы. Запасы свинцовой руды в Маубахском рудном округе составляют приблизительно 750 000 *т* Pb. Среднее содержание свинца в руде достигает приблизительно 2,5—3%. Запасы цинка точно не известны, но, вероятно, путем применения новейших способов обогащения здесь может быть обеспечена рентабельная добыча цинка.

Генезис месторождений

Возникновение месторождений и происхождение руд этих месторождений объясняют по-разному.

Часть исследователей полагает, что свинцовый блеск, цинковая обманка и медный колчедан первоначально возникли в рудных жилах в девоне Рейнских сланцевых гор.

При сильной денудации, которой древний горный массив подвергался особенно сильно к началу периода образования Пестрого песчаника, вместе с остальными породами были разрушены также и рудные жилы. Содержимое их вместе с обломками породы обратилось в те продукты выветривания и обогащения, которые теперь являются конгломератами и песчаниками.

Водопроницаемость, в частности в песчаниках, в каждом отдельном слое от места к месту сильно меняется в зависимости от количества глины, находящейся между песчаными зернами. Поверхностные воды, фильтрующиеся местами в грубозернистых отложениях, естественно, избирали наиболее проницаемые участки песчаника с наименьшим содержанием глины.

Если сульфиды произошли из эродированных галенитовых жил и, таким образом, галенит в виде окатанных обломков попал вместе с песком и более крупным обломочным материалом в отложения Пестрого песчаника, то в участках песчаников, особенно богатых глиной, вероятно, могли бы содержаться мелкие гальки свинцового блеска, так как атмосферные влияния не могли бы проявляться здесь с такой силой, как в легко проницаемых участках. В водопроницаемых же горизонтах должна была бы иметься также церусситовая галька в виде псевдоморфоз по свинцовому блеску.

Отложение песчаников и конгломератов среднего Пестрого песчаника, повидимому, происходило вначале не под постоянным покровом воды (следовательно, не в озероподобных бассейнах с постоянным, почти неизменным уровнем воды), а в условиях чередования периодов обильных осадков с периодами засух.

Во время засух уровень грунтовых вод и уровень воды в водоемах сильно опускался, так что существенная часть осадков, выпавших в дождливое время, снова высыхала.

В ином случае, т. е. под постоянным водным покровом, не было бы полного разрушения сульфидов, находившихся в гальке и песках того времени. В крайнем случае, на свинцовом блеске здесь могли бы образоваться англезит, церуссит или хлорид свинца. Условия тогда были бы примерно такими же, как и в пограничной области между зоной окисления и зоной цементации, так как возможность постоянного доступа воздуха была бы исключена.

В тех песках и галечниках, которые ежегодно и надолго высыхают, воздух и вода наряду с необходимыми количествами углекислоты могут беспрепятственно воздействовать на сульфиды, превращать свинцовый блеск в растворимый карбонат свинца, а иногда и в хлорид, и медленно их растворять. Растворы местами могут достичь такой концентрации, при которой углекислый свинец будет снова выкристаллизовываться, в данном случае в виде конкреций. Возможно также промежуточное образование свинцового хлорида.

Таким образом, вначале должны были возникнуть исключительно церусситовые конкреции, которые потом уже превратились в свинцовый блеск.

Как в Мехернихе, так и в Маубахе, конкреции имеются во всех частях рудных тел, которые в настоящее время защищены от атмосферных влияний; конкреции эти состоят исключительно из свинцового блеска; нередко конкреции состоят из отдельных кристаллов свинцового блеска или из их агрегатов; образованию формы кристаллов в большей или меньшей степени мешал вмещающий их песок, но различить форму этих кристаллов все же можно. Таким образом, конкреции выкристаллизовались первоначально в виде свинцового блеска, а не церуссита. То же относится и к плотной свинцовой руде в песчанике рудника Гуте Хоффнунг. В этой руде в «первичной зоне» нет остатков карбоната свинца, несмотря на то, что условия, для того чтобы они здесь сохранились, были особенно благоприятными.

Мало вероятно, чтобы в месторождениях при разложении сульфидов, поступивших в осадочные породы, могло образоваться такое количество сероводорода, что могло произойти полное превращение вновь образованного карбоната свинца в сульфид свинца. Образование необходимого количества H_2S путем разложения не поддавалось бы учету, поскольку часть газа уносилась бы потоком грунтовых вод.

В тех частях Мехернихских месторождений, так же как и в округе Маубах, на которые, уже начиная с четвертичного периода, могли оказывать влияние факторы выветривания, на каждой стадии наблюдаются (и уже неоднократно описаны) явления превращения свинцового блеска в церуссит, частичное или полное обратное превращение церуссита в свинцовый блеск или в черную свинцовую руду, а также образование пироморфита и англезита.

На больших глубинах эти явления полностью отсутствуют. Там совершенно нет признаков таких превращений. Наблюдающийся близ поверхности Земли у Мехерниха и в шахте Гуте Хоффнунг переход зоны свинцового блеска в зоны церуссита и пироморфита в направлении течения грунтовых вод без признаков обратного превращения в сульфиды говорит о том же.

В слоях конгломерата между пластами песчаника свинцовый блеск часто крупнозернистый, и нет никаких признаков того, чтобы он произошел из карбоната свинца или из свинцового хлорида. По своему характеру он почти всегда такой же, как и свинцовый блеск рудных жил.

Остается предположить, что основное количество свинцового блеска принесено в песчаники и конгломераты вместе с поднимающимися кверху сернисто-щелочными растворами того же типа, что и те, которые отлагали свинцовые сульфиды в рудных жилах. Возможности непосредственного переноса больших количеств свинцового сульфида вадозными растворами нам неизвестны, хотя такие перемещения часто происходят в малых масштабах.

Незначительные новообразования кристаллов свинцового блеска в некоторых главных трещинах как чисто местное явление могут быть здесь оставлены без рассмотрения.

Эти соображения приводят к предположению, что свинцовый блеск, наравне с цинковой обманкой, медным колчеданом и бравоитом, не был принесен в результате выветривания или эрозии из рудных жил во вторичные месторождения и не переотложился в «россыпи» путем повторного растворения, осаждения и восстановления.

Скорее можно допустить, что здесь мы имеем дело с первичным выделением из гидротермальных растворов эпитермального характера, которые проникли из древних трещин в существовавшие тогда отложения гравия и песка и выделили там сульфидные руды в качестве первичных образований. В пользу этого предположения, наряду со всем остальным, говорит также наличие в месторождении цинковой обманки, на которую раньше обращали мало внимания.

Восходящие термальные растворы большей частью несли вначале цинк, а потом свинец, как это достаточно ясно видно из возрастных соотношений минералов, наблюдаемых в рудных жилах.

В Мехернихе цинковая обманка образует мельчайшие темные кристаллики и агрегаты кристаллов, которые располагаются между зернами песка. По нашим наблюдениям, цинковая обманка относительно редко появляется вместе со свинцовым блеском; чаще всего она встречается отдельно от него в обособленных частях месторождения. В слоях конгломерата цинковая обманка не наблюдается.

Мельчайшие кристаллики цинковой обманки в песчанике всегда свежи и гладки, без всяких признаков разложения или коррозии под влиянием выщелачивающих растворов, хотя вообще цинковая обманка относительно легко разлагается с образованием сульфата или карбоната. Вне всякого сомнения, эти кри-

сталлики цинковой обманки являются первичными образованиями из восходящих растворов. И ни в коем случае здесь речь не может идти о вторичных образованиях того типа, каким представляют себе некоторые исследователи образование конкреций свинцового блеска из церуссита.

Относительно небольшие количества цинковой обманки в Мехернихе полностью соответствуют отношению свинца к цинку на старых шахтах Бешайда и Блейальфа (см. ниже). То же может быть сказано в отношении медного колчедана, сравнительно редко и только местами встречающегося в виде конкреций. Последний встречается в свежем, неразложенном виде в глубоких, не подвергшихся влиянию выветривания частях месторождений Маубаха и Мехерниха.

Там, где он мог подвергнуться воздействию поверхностных вод, содержащих CO_2, он превратился в азурит, малахит и частично в красную медную руду. Мы, несмотря на тщательные поиски, нигде не встретили жильного кварца с выщелоченными пустотами, представляющими собой обратные отпечатки выщелоченных прожилков свинцового блеска. Там, где встречается свинцовый блеск в виде цементирующего материала, в более крупных массах конгломерата нередко можно наблюдать, что поверхности галек, соприкасающиеся с более молодым свинцовым блеском, корродированы.

Тот факт, что в частях месторождений, доступных поверхностным водам, повторно происходили и продолжают происходить растворение, переотложение, окисление, восстановление и вторичное окисление, ничего общего не имеет с первоначальным генезисом.

Таким образом, сингенетическое объяснение возникновения месторождений наталкивается на трудно преодолимые препятствия.

Не так легко решить вопрос, откуда могли появиться эти термальные растворы.

Многочисленные большие и малые сбросы, разбившие Пестрый песчаник и другие мезозойские породы на куски, не имеют значения для отложения руды; это давно доказано. То же относится и к нарушениям большой амплитуды. Правда, в главном сбросе Зонненберг южнее горы Кальмуттер, у Мехерниха, являющегося наибольшим сбросом в области, вызвавшим вертикальное смещение блоков приблизительно на 280 *м*, были обнаружены в пластах конгломерата прекрасные кристаллики свинцового блеска, а иногда и несколько более молодой медный колчедан и часто значительно более молодой барит; но существенных скоплений свинцового блеска и пр. ни в этой трещине, ни в граничащих с ней песчанике и конгломерате не имеется.

Все эти нарушения пересекли и сбросили уже сформировавшиеся месторождения в Мехернихе и в Маубахе.

Трещина, по которой передвигаются термальные растворы, может вовсе не содержать или содержать небольшие количества руды, в зависимости от того, насколько благоприятствуют отложению граничащие с нею породы. Но там, где встречаются породы, способные реагировать, можно ожидать существенного накопления руды вблизи трещин.

Накопление руды нигде здесь не имело места вблизи нарушений; напротив, вдоль трещин идет выщелачивание руды. В небольших нарушениях дробятся и выщелачиваются даже готовые, образовавшиеся конкреции.

Если свинцовый блеск встречается в той или иной трещине как ее заполнитель, то это имеет место только непосредственно в конкреционном пласте или в конгломерате. Наоборот, барит встречается в крупных нарушениях или близ них; он не встречается в месторождениях, а в крупных нарушениях является самым молодым образованием.

Большей частью эти нарушения в Пестром песчанике возникли, вероятно, в третичную эпоху, при опускании нижнерейнской депрессии. Во всяком случае, в то время они достигли своих теперешних размеров.

Рудопроводящие трещины должны были возникнуть приблизительно во время седиментации среднего Пестрого песчаника или должны были быть тогда уже доступными для циркуляции термальных вод.

В округе Мехерних это относится только к ряду трещин, содержащих свинцовую руду в шахте Каллер Штоллен у Танцберга, северо-восточнее Кельдениха. Эти трещины вытянуты в направлении с юга на юго-запад по линии, где расположены старые свинцово-рудные шахты Решайда, Вишайда и Блейальфа.

Бейшлаг[1] указывал уже много лет назад на то, что растворы, которые импрeньировали песчаник и конгломерат Мехерниха главным образом свинцовой рудой, по всей вероятности, поднимались по тем же трещинам и в то же время, что и те, которые отложили руды Каллер Штоллен (Танцберг), Решайд и Блейальф. Они мигрировали в девоне из трещин в песчаники.

Мехернихское месторождение образует продолжение старой линии нарушений в девоне. О том же говорит обеднение импреньяционной зоны по направлению к северу.

Насколько относительно простым представляется объяснение происхождения больших Мехернихских месторождений, настолько же трудно объяснить возникновение растворов и распределение руды в своеобразном маленьком месторождении Ре-

[1] *Zschr. für prakt. Geol.*, 1919.

шайда. Долина, тянущаяся от Блейбюира на юг, предположительно следует по сбросовой трещине, служившей питающим каналом для рудных растворов. Впрочем, точные тектонические отношения в этой области недостаточно выяснены, чтобы по этому вопросу можно было делать какие-либо определенные выводы.

В окрестностях Маубахского месторождения во многих местах известны менее крупные жилы свинцовой руды в девоне, но они никогда не имели промышленного значения. Здесь же в девоне имеется много больших, тянущихся с севера на запад трещин, из которых та или другая могут считаться проводниками рудных растворов.

Бейшлаг в 1919 г. указывал также на то, что, вероятно, свинцовая и цинковая руды Аахенского и Штольбергского округов имеют тот же возраст, что и конкрециевые руды в Пестром песчанике Мехерниха и Маубаха. Линии нарушений, которые могут считаться подъемными каналами для растворов руды в обеих смежных областях, могут иметь приблизительно один и тот же возраст или примерно в одно и то же время (в начале трансгрессии Пестрого песчаника) были открыты для доступа термальных вод.

Известно, что в округе Штольберг рудные тела связаны в точках пересечения больших северо-западных нарушений с известняковыми и доломитовыми пластами карбона и девона. Но далеко не все точки пересечения больших нарушений с известняковыми и доломитовыми горизонтами были изучены со стороны нахождения в них таких рудных тел. Основательные геофизические и преимущественно геоэлектрические исследования с последующим бурением помогут кое-где вскрыть еще ряд свинцовых и цинковых месторождений.

Небольшое содержание серебра в свинцовом блеске в округе Штольберг и в конкрециевых рудах Мехерниха и Маубаха характеризуется цифрами следующего порядка (по Борнхардту [1]):

Рудник Дипенлинхен у Штольберга — 130—180 *г/т*
Мехерних — 110—140 *г/т*
Каллер Штоллен — 80 *г/т*
Блейальф (жила в девоне юго-западнее Мехерниха) — 150 *г/т*

Обычно считается, что рудоносные растворы первоначально осветлили красные пласты песчаника. Фактически зерна кварца, заключенные в конкрециях в красном песчанике, почти всегда лишены их красной корочки из окислов железа. Но общее обесцвечивание песчаника под влиянием растворов руды не доказано.

[1] *Gangverhältnisse des Siegerlandes*, т. 2 (1912), стр. 7.

Так, например, на юге горы Кальмуттер конкреции свинцового блеска встречаются одинаково как в красном, так и в белом песчаниках, а также в песчанике с красными и с белыми пятнами. Большие конкрециевые пласты в Мехернихе как в частях, импрельнированных конкрециями свинцового блеска, так и в безрудных частях везде окрашены в бело-желтый цвет. Нет признаков, по которым можно было бы полагать, что песчаник первоначально был здесь красным. Напротив, в шахте Гуте Хоффнунг ясно видно посветление песчаника, первоначально окрашенного в красный цвет.

Т. ДИНС[1]

МЕДИСТЫЕ СЛАНЦЫ И АССОЦИИРОВАННАЯ С НИМИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПЕРМСКИХ ПОРОДАХ СИЛЕЗИИ, ГЕРМАНИИ И АНГЛИИ

Краткое содержание

В статье дается обзор новейшей литературы по медистым сланцам; указывается на то, что в этой формации содержится гораздо больше свинца и цинка, чем меди. В то время как залежи меди ограничиваются площадями, имеющими лишь несколько километров в поперечнике, свинец и цинк распространены весьма широко. Во всей области между концентрациями меди и цинка наблюдается явно выраженный антагонизм. Во всех медьсодержащих площадях наблюдается вертикальная зональность, причем сульфиды меди залегают в основании, затем следует слой с максимальным содержанием галенита, а над ним — слой с преобладанием цинковой обманки. В Центральной Германии мощность всего этого ряда составляет всего только 1 *м*, но в эквивалентных медистых и свинцовых мергелях Нижней Силезии мощность зон значительно больше, причем галенит и сфалерит сохраняются и в среднем цехштейне. Медистый сланец северо-западной Германии и мергелистый сланец северо-восточной Англии характеризуются присутствием галенита; высказывается предположение, что цинковая обманка в нижнем магнезиальном известняке Дурхэм, а может быть также и в Оснабрюкских цехштейновых известняках, представляет собой конечную фазу этой медисто-сланцевой минерализации. Автор высказывается в пользу теории сингенетического отложения металлов: структуры замещения, в форме которых обычно преявляются сульфиды, интерпретируются как диагенетические или вторичные. Медь, свинец и цинк могли быть занесены в цехштейновое море в большей своей части метеорными грунтовыми водами; следы ванадия, никеля, молибдена и пр. могут быть обязаны скоплениям главным образом биогенного характера, происшедшим либо из гумусных почв, либо из водных организмов.

Введение

Хотя свинец и цинк являются второстепенными побочными продуктами германской медисто-сланцевой промышленности, все же медистые сланцы обычно не рассматриваются как свинцово-цинковая формация. Однако фактически свинец и цинк содержатся в значительно бо́льших количествах, чем медь, как в самой этой формации, так и непосредственно над ней, а также и в ее эквивалентах — медистом мергеле, медистом суглинке и мергелистом сланце. Эти металлы, повидимому, пока имеют лишь небольшое промышленное значение, поскольку они присутствуют здесь в количествах — от следов до не более 2—3%; но из-за исключительного характера оруденения они заслуживают рассмо-

[1] T. Deans, старший научный сотрудник; Горный департамент, Имперский институт, Лондон.

трения в обзоре, посвященном вопросу происхождения свинцово-цинковых месторождений.

С тех пор как Фульда (1935 г.) на XVI Международном геологическом конгрессе сделал обзор запасов меди в Германии, в деле изучения медистых сланцев достигнуты большие успехи. В то время было известно только то, что крупные запасы руды имеются в округе Мансфельд; проведенным впоследствии углубленным обследованием были вскрыты дополнительные запасы вокруг заброшенных рудных полей, запасы, которые в своей совокупности превышают имевшиеся первоначально в Мансфельдской синклинали. На основании данных исследований было установлено, что медь присутствует на отдельных участках, имеющих лишь несколько километров в диаметре, наличие же свинца и цинка часто является характерным признаком для обширных промежуточных областей; было также доказано, что в медьсодержащих участках существует постоянная вертикальная зональность сульфидов — сульфиды меди залегают в основании, затем следует слой с максимальным содержанием галенита, а выше преобладает цинковая обманка. К сожалению, свинцово-цинковые рудные площади и горизонты, естественно, не были изучены так же детально, как те, которые содержат медь.

Отсутствие месторождений промышленного значения в английских мергелистых сланцах ограничивало масштаб исследования этой формации, но имеющиеся данные показывают, что в Дурхэме, и может быть еще кое-где, они характеризуются присутствием галенита; этим же отличаются и ближайшие месторождения германских медистых сланцев. Автор недавно приступил к изучению минерализации мергелистых сланцев, причем им преследуются две цели: во-первых, сделать свой вклад в дело решения проблемы медистых сланцев, а во-вторых, помочь интерпретации интересного типа минерализации, найденного в магнезиальных известняках Дурхэма.

В настоящей статье дается обзор литературы по медистым сланцам, опубликованной после 1935 г., приводятся новейшие данные в отношении их английских эквивалентов и обсуждается вопрос о происхождении минерализации. Библиографические указания на более раннюю литературу содержатся в нескольких работах, приведенных в списке, помещенном в конце статьи; сводки и обсуждение данных о Мансфельдских месторождениях на английском языке принадлежат Траску (1925) и Грегори (1930). В нижеследующем обзоре обсуждаемая проблема рассматривается сначала применительно к отдельным областям, причем отмечаются важнейшие полевые исследования и теоретические высказывания исследователей; далее следует краткое обсуждение современных теорий. Поскольку многие из последних имеют за собой долгую историю, я хотел бы указать на то, что,

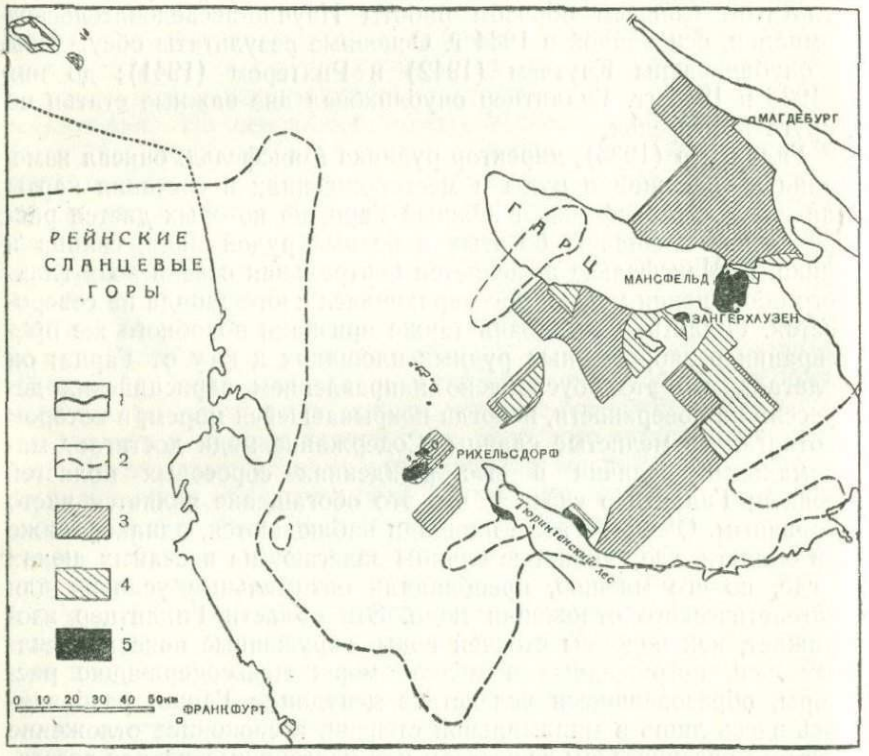
приводя теории, развиваемые новейшими авторами, я не подразумеваю при этом, что именно они были первыми их пропагандистами.

Центральная Германия

Успехи, достигнутые в Центральной Германии, явились результатом главным образом работы Научно-исследовательской компании, основанной в 1934 г. Основные результаты обсуждены и опубликованы Каутчем (1942) и Рихтером (1941); до них в 1935 и 1936 гг. Гиллитцер опубликовал две важные статьи об округе Мансфельд.

Гиллитцер (1935), директор рудника Мансфельд, описал изменения в содержании руды в месторождениях и составил карты для округов Мансфельд и Южный Гарц, на которых дается распределение площадей, богатых и бедных рудой меди, свинца и цинка. В Мансфельде выделяется центральная осевая зона главного обогащения медью, простирающаяся с юго-запада на северо-восток. Гиллитцер установил также признаки подобного же простирания в заброшенных рудных площадях к югу от Гарца; он полагает, что это обусловлено направлением варисцийских депрессий на поверхности, некогда покрывавшейся морем, в котором и отлагались медистые сланцы. Содержание меди достигает максимальных величин в месторождениях сбросовых областей Рюккен; Гиллитцер считает, что это обогащение является чисто вторичным. Очень богатые площади наблюдаются, однако, также и в области, где глинистые сланцы залегают на песчаных дюнах и где, по его мнению, преобладали оптимальные условия для сингенетического отложения меди. Эти области Гиллитцер изображает, как водоемы стоячей воды, окруженные поясом песчаных дюн, погруженных в мелкое море; медьсодержащие растворы, образовавшиеся вследствие денудации Гарца, разбавлялись здесь лишь в минимальной степени, а спокойное отложение богатого органическим веществом ила благоприятствовало восстановлению и осаждению меди. Высота дюн составляет в среднем 10 *м*, а иногда она достигает и 15 *м*. Верхние слои медистых сланцев часто выклиниваются близ склонов дюн, и на широких плоских вершинах последних цехштейновый известняк может залегать на среднем слое Каммшале (Kammschale), что указывает на небольшую глубину моря. Этот автор подразделяет Мансфельдское рудное поле на три участка, каждый из которых отличается характерным для него содержанием меди и вертикальным распределением последней; по его мнению, каждый из них представляет собой самостоятельный бассейн осаждения. Исходя из общего распределения металлов в медистых сланцах Центральной Германии, автор полагает, что отложение меди происходило главным образом в пределах местных депрессий в море, находящихся

недалеко от береговой линии. Дальше, в «открытом море», содержание меди всегда было низким, в то время как содержание свинца и цинка могло быть и высоким; он считает, что возрастание содержания цинка в верхних слоях медьсодержащих территорий указывает на постепенное увеличение примешивания вод



Фиг. 85. Распределение цинка, свинца и меди в медистом сланце Центральной Германии. (В основном по Каутчу и Рихтеру.)

1 — выход нижнего цехштейна; *2* — граница фации медистых сланцев; *3* — цинк; *4* — свинец и цинк; *5* — медь.

открытого моря к водам местных бассейнов. Мансфельдские месторождения он рассматривает как чисто сингенетические, но в отношении других областей, включая холмы Рихельсдорф, он соглашается с тем, что минерализация типа дерновых медных руд Фульда могла в них сыграть известную роль.

Каутч и Рихтер, проводившие работу одновременно, но независимо один от другого, оба высказываются в пользу сингенетического отложения металлов, но предполагают возможность

существования здесь совершенно различных действующих процессов. Составленные ими карты и диаграммы весьма содержательны. Фиг. 85, *основанная на картах* Каутча, показывает в упрощенном виде распределение металлов в медистых сланцах Центральной Германии. Каутч приводит следующие данные в отношении главных известных медьсодержащих территорий:

Таблица 35

МАСШТАБЫ ОРУДЕНЕНИЯ В МЕДИСТЫХ СЛАНЦАХ

Месторождение	Пригодное для разработки	
	площадь, *кв. км*	мощность сланцев, *см*
1. Зангерхаузен	9	29
2. Холмы Рихельсдорф:		
а) синклиналь Зольц-Зонтра . . .	15	24
б) синклиналь Ронсхаузен-Хёнебах	36	26

Во всех случаях имеются добавочные запасы меди в виде железистого песчаника в Сером лежне. Эти цифры могут быть сопоставлены с величинами для Мансфельдской синклинали, в настоящее время уже в значительной степени истощенной: площадь — 140 *кв. км*, мощность — 22 *см*.

В отношении общего содержания металлов в медистых сланцах Центральной Германии имеются только грубо приблизительные подсчеты. Карты Каутча и фиг. 85, возможно, не являющиеся полными, отображают следующие площади с повышенным содержанием каждого из этих металлов:

Медь . . . . . 260 *кв. км*
Свинец . . . . . 1 450 „ „
Цинк . . . . . 5 750 „ „

Медь и цинк обнаруживают явный антагонизм в распределении их в пространстве. Это заметно как в больших масштабах, когда цинксодержащие территории оказываются бедными медью, и наоборот, в малых масштабах в участках Белого лежня песчаных дюн в медьсодержащих округах, где цинк преобладает на вершинах дюн, а медь — в долинах между ними (например, в Мансфельде). Присутствие свинца является до известной степени характерным признаком переходных площадей, но вместе с тем он широко распространен также и на территориях, содер-

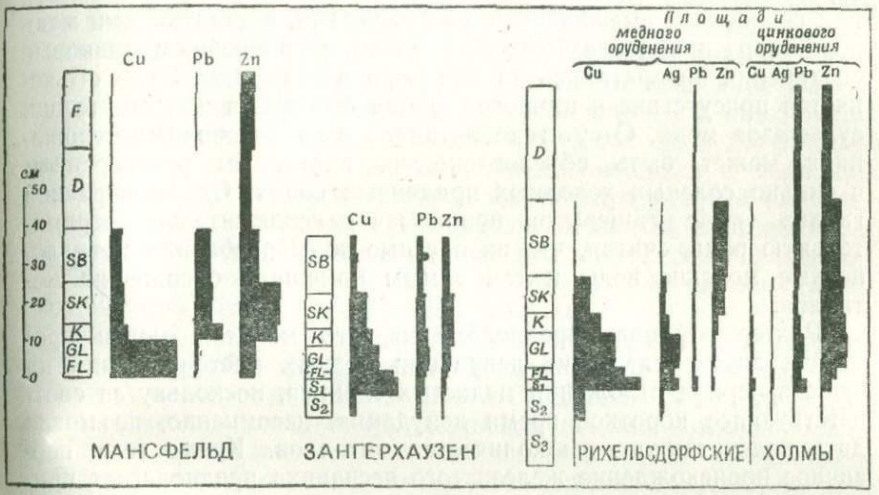
жащих цинковую руду. Особенно характерной чертой для территорий, содержащих медь, является постепенное сокращение площади медного оруденения в каждом последующем стратиграфическом слое, причем медь более широко распространена в Сером лежне (железистый песчаник), чем в основании глинистых сланцев; в последних содержание еще больше, чем в вышележащих слоях. Однако верхняя граница появления меди колеблется от нижних горизонтов Серого лежня и приближается к основанию глинистых сланцев; однако дальше медьсодержащая площадь по направлению кверху сокращается, а цинковое оруденение распространяется вниз.

Вертикальное распределение металлов видно из приведенных на фиг. 86 нескольких примеров. Последние иллюстрируют параллелизм в поведении меди и серебра, а также постоянную последовательность максимумов содержаний меди и серебра, свинца и цинка. На примерах, взятых из Рихельсдорфа, можно провести сравнение между соседними медь- и цинксодержащими площадями. При этом можно видеть, что в то время как цинк в медьсодержащих площадях ограничен верхними слоями, в цинксодержащих площадях его содержание достигает своего максимума в нижних слоях.

Каутч развил ряд гипотез, высказанных более ранними приверженцами теории сингенетического отложения. Он утверждает, что отложение меди ограничено небольшими площадями, расположенными в море на некотором расстоянии от береговой линии массивов суши, или на склонах варисцийских возвышенностей (например, холмы Рихельсдорф), и происходило только на определенных морских глубинах и на определенных расстояниях от берега. Он приписывает большое значение «красной гнили» («rote Fäule»), пустым красного цвета зонам в известняковых слоях и в кровле медистых сланцев, хорошо известным в Мансфельде и отмеченных им на карте в Зандерхаузене и Рихельсдорфе. Каутч считает, что они указывают направление, в котором передвигались потоки и струи насыщенной кислородом воды, несшей с суши металлы в растворе и осаждавшей их в тех местах, где эти потоки смешивались с восстанавливающими сероводородными морскими водами. Различные струи несли разные количества металлов; высокое содержание металла в медистых сланцах по краям поясов «красной гнили» указывает на места, в которых впервые происходило смешивание струй.

Рихтер установил, что все медьсодержащие участки находятся в зонах нижнего цехштейна с относительно большой (от 4 до 10 *м*), но резко изменяющейся мощностью, хотя обратная закономерность не имеет места. Эти слои залегают в пределах второстепенных впадин в отложениях верхнего Красного лежня, окружающих большую котловину Красного лежня Центральной Гер-

мании, покрытую очень тонким слоем нижнего цехштейна. Он рассматривает минерализацию как явление, не зависящее от фаций вмещающих осадочных пород, представленных здесь песками, илами и мергелями, битуминозными или не содержащими углерода; он считает, что минерализация, сама по себе, представляет фациальное явление, причем признает существование сингенетической медной фации, связанной с более глубокими водами, и цинковой фации, ассоциированной с более мелкими водами. От-



Фиг. 86. Вертикальное распределение металлов в медистом сланце. (По Лангу и Рихтеру.)

Литологические подразделения: S 1—3—железистый песчаник; *FL*—тонкодисперсные глины; *GL*—грубый суглинок; *K*—гребенчатый прослой; *SK*—верхний сланец; *SB*—черные породы; *D*—кровля; *F*—рухляк.

сюда он заключает, что первоначальная глубина моря медистого сланца составляла предположительно от 20 до 50 *м*; постепенно оно становилось все более мелким, что привело к сокращению площади осаждения меди и к распространению цинковой фации.

Он рассматривает также минерализацию в песчаниках как первично сингенетическую и считает, что последняя имеет место только в нормальных базальных песках (Серый лежень) и никогда не встречается в дюнных песках (Белый лежень). Широкое распространение рудоносного песчаника под пустым медистым сланцем противоречит, по мнению этого автора, как теории, согласно которой это явление представляет собой инфильтрацию из глинистого сланца, так и теории дерновых медных руд («Rasenkupferstein»), рассматривающей рудный песчаник как минерализованную корку на сухой почве или как результат осушения

мелководного бассейна с последовательным выщелачиванием и переотложением материала в медистых сланцах.

Рихтер предполагает, что при равномерном распределении растворенных металлов в море медь и цинк могли осаждаться одновременно на различных участках. В местных депрессиях со стоячей сероводородной водой медь вследствие ее близкого сродства с серой должна была выделяться первой, а уже после нее должны были выделиться свинец и цинк; в понижениях с менее сероводородной водой цинк мог быть осажден в виде карбоната или гидроокиси аммониевыми соединениями, оставляющими медь в растворе в виде комплексных ионов; в дальнейшем цинковые соединения превратились на дне моря в сульфиды. Этим объясняется присутствие в цинковой фации сфалерита при отсутствии сульфидов меди. Отсутствие металлов в глубоководных отложениях может быть обусловлено их повторным растворением в сильно соленых холодных придонных водах. Слоям «красной гнили» («rote Fäule») он приписывает исключительно отрицательную роль, считая, что их пресные воды разбавили металлоносные морские воды и тем самым помешали отложению металлов.

Рихтер отрицает предположение, что металлы могли произойти здесь вследствие денудации рудных месторождений на суше в период отложения медистых сланцев, поскольку за соответствующее короткое время денудация, несомненно, не могла дать подсчитанного им количества металлов. Кроме того, первичное происхождение железистого песчаника предполагает присутствие металлов в водах, отложивших конгломерат цехштейна. С своей стороны, Рихтер выдвигает гипотезу, что на протяжении продолжительного процесса денудации варисцийских территорий в Стефанский период и в период Красного лежня были растворены большие количества руд, и это вызвало обогащение металлами глубоко залегающих грунтовых вод в межгорных скоплениях детритовых отложений. В конце этого периода количество атмосферных осадков возросло, что привело к поднятию уровня грунтовых вод, местами до дневной поверхности, где после ингрессии цехштейна эти воды могли смешаться с водами моря медисто-сланцевой формации.

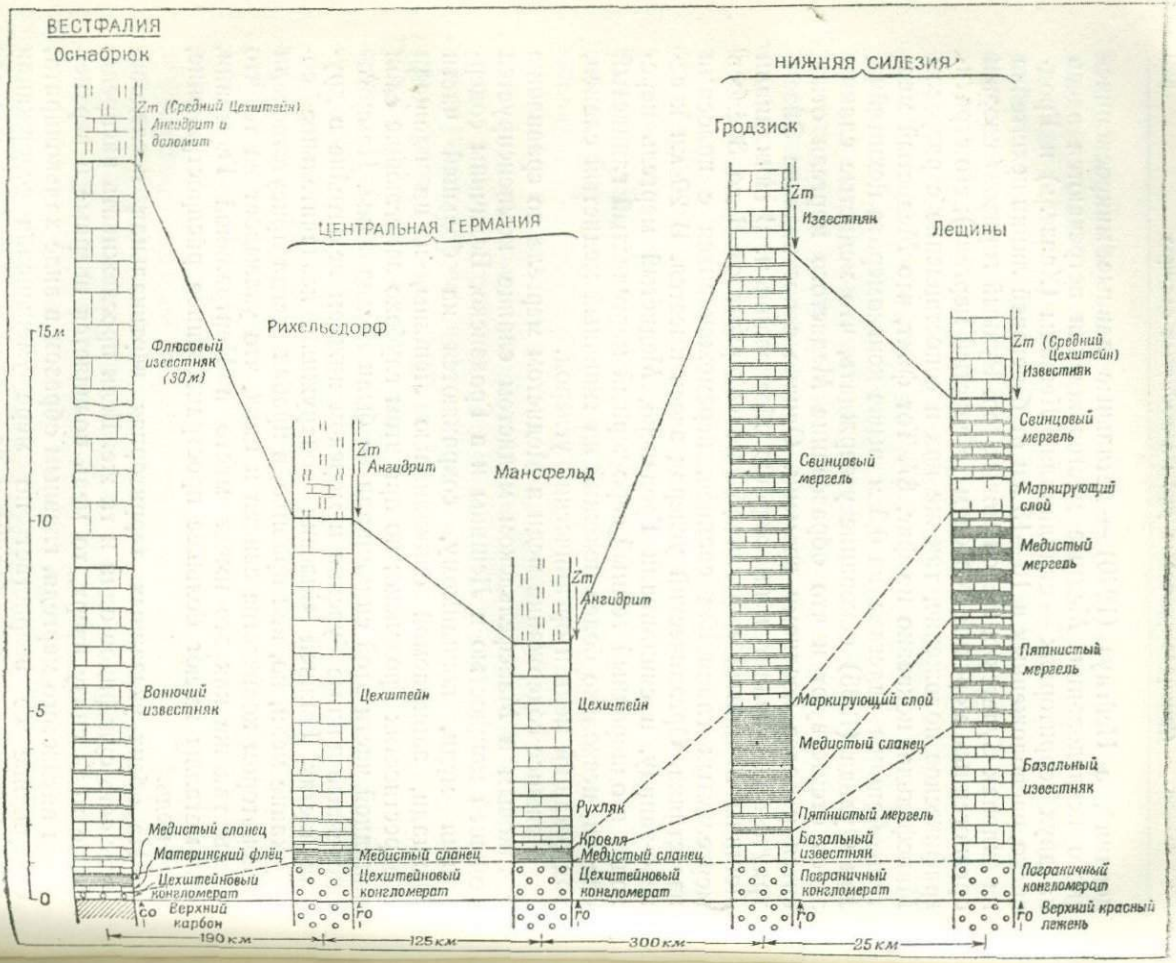
Нижняя Силезия

Между 1935 и 1938 гг. проводилось исследование нижнесилезских месторождений, начатое с изучения старого медного округа, расположенного вокруг Злотории. Эти работы позволили установить геологическое положение широко распространенной сульфидной минерализации в нижнем цехштейне Нижней Силезии. Эйзентраут (1939) опубликовал результаты геологических иссле-

дований, а Нейгауз (1940) — детальные данные микроскопического исследования. Медные месторождения встречаются здесь на двух территориях — синклиналях Лещины (Хаазель) и Гродзиско, расположенных в 10—15 *км* от береговой линии цехштейна на склонах Судетских Исполиновых гор. Рудный горизонт сложен органогенным морским мергелем (Медистый мергель); его стратиграфическое положение, так же как и сопоставление с разрезом Мансфельда, показано на фиг. 87. Тот факт, что Медистый мергель Лещины залегает на 6,3 *м* выше конгломерата цехштейна, дал Фульда (1935) основание утверждать, что медистые сланцы здесь отсутствуют и что образование Медистого мергеля относится к более позднему времени. Однако сопоставление Эйзентраута представляется нам хорошо обоснованным. В синклинали Лещины Медистый мергель обычно содержит от 6 до 8 слоев мергелистых глинистых сланцев, перемежающихся с полосами известняка. Органический углерод здесь имеется. В 20 *км* к северо-западу, в синклинали Гродзиско, Медистый мергель переходит в однородный темный серо-черный мергелистый глинистый сланец, несколько более похожий на типичный медистый сланец, содержащий медь и органический углерод.

Меньшее содержание меди в Медистом мергеле по сравнению с таковым в Мансфельдском медистом сланце компенсируется большей мощностью в Лещины и в Гродзиско. Величины содержания меди, повидимому, сохраняются на большей части площади, занимаемой синклиналью Лещины, и на площади в окрестностях Гродзиско; но при этом глубоко залегающие слои западной части этой синклинали не были исследованы. Немногочисленные данные бурения в морском нижнем цехштейне в других частях Нижней Силезии обнаружили незначительное содержание меди, но, как правило, в пробах всегда присутствовали в некотором количестве свинец и цинк, что указывает на то, что здесь, так же как это имеет место в Центральной Германии, эти металлы имеют большее пространственное распространение, чем медь.

На обеих указанных территориях вертикальная последовательность сульфидов одна и та же. Если прослеживать распределение меди снизу вверх, то медь появляется впервые в верхней части пятнистого мергеля, главным образом в виде халькопирита; содержание ее возрастает по мере уменьшения содержания халькопирита, причем борнит и халькозин в Медистом мергеле становятся преобладающими сульфидами. Затем содержание меди кверху снижается, по мере того как снова появляется халькопирит (часто вместе с большим количеством пирита). Свинец впервые появляется, обычно довольно внезапно, около середины или в верхней части толщи Медистого мергеля и достигает максимального содержания в нижней части толщи Свинцового мер-



Фиг. 87. Сравнительная стратиграфия нижнего Цехштейна. (Частично по Эйзентрауту.)

геля, где содержание галенита возрастает, между тем как содержание халькопирита снижается; дальше свинец может сохраняться в меньших количествах до верхней части известняков нижнего цехштейна и даже переходить в известняки среднего цехштейна. Цинковая обманка появляется вместе с галенитом в верхней части Медистого мергеля; она представляет собой обычное явление в верхней части Свинцового мергеля, а также в известняках среднего цехштейна. В Медистом мергеле на каждый процент меди приходится известное количество серебра; здесь присутствуют в незначительных количествах также кобальт, никель, ванадий, молибден, хром, сурьма, мышьяк, а равно следы олова и золота.

Нейгауз установил, что сульфиды, находящиеся в слоях глинисто-сланцевого мергеля, похожи на руды Мансфельда, встречающиеся в виде «включений» или мелких линз и прожилков. Эти глинистые мергели, повидимому, представляют собой первичные осадочные (и диагенетически (?) измененные) образования; по мнению этого автора, борнит, главный минерал меди, низкотемпературный халькозин, галенит и цинковая обманка являются первичными сингенетическими минералами. Халькопирит обычно представляется вторичным и более молодым, чем остальные руды. Обильный пирит встречается исключительно в виде сферических агрегатов двух видов: одного, обычно 7—12 микронов в поперечнике, сложенного из мельчайших «иголок», и второго — размерами около 30 микронов в диаметре, состоящего из кристаллов диаметром 3—8 микронов. Нейгауз полагает, что они могли быть образованы двумя видами бесцветных серых бактерий, подобных «минерализованным бактериям», найденным Шнейдерхёном в Мансфельде. Этот пирит является, повидимому, первым отложившимся сульфидом; остальные сульфиды вначале заполняли интерстиции между «иголками», а затем полностью заместили агрегаты, которые, повидимому, сыграли роль ядер, вокруг которых кристаллизовались руды. Было установлено, что рудные сульфиды никогда не образовывались первично в виде «минерализованных бактерий». В слоях известняка имела место вторичная перекристаллизация как карбонатов, так и сульфидов, причем последние имели очень крупнозернистую структуру, а иногда встречались в виде мелких желваков; халькозин был преобладающим медным минералом; часто он являлся вторичным по борниту.

Свинцовый мергель, сложенный главным образом глинистыми известняками, содержит богатую фауну брахиопод, мшанок и фораминифер. Все ископаемые сохранились в кальците, за исключением раковин фораминиферы *Agathommina pusila*, определяемой как *Trochammina*, которые обычно замещены сульфидами. В одном и том же образце одни фораминиферы могут быть

замещенными несколькими различными сульфидами, а другие сохраняться нетронутыми в белом кальците. Галенит очень часто выступает в этой роли замещающего минерала как в Силезии, так и в месторождениях Центральной Германии.

Пятнистый мергель характеризуется красными пятнами или крапинками от 3×10 до 10×50 *мм* в вертикальном сечении, заключенными в сером мергеле, несколько менее карбонатном, чем обычно; подобные же пятна встречаются и в Медистом мергеле. Эти пятнистые пласты всегда бедны медью; рудные сульфиды (главным образом халькопирит) и «минерализованные бактерии» в них сосредоточены внутри красных пятен, особенно близ их краев. Нейгауз высказывает предположение, что эти пласты образовались в присутствии меньших количеств сернистого водорода и органического вещества и бóльших количеств кислорода, чем это наблюдалось при формировании непятнистых пластов; в этих условиях неустойчивые сульфиды железа были осаждены и затем окислены; это окисление вызвало красную окраску и высвобождение серной кислоты, способствовавшей превращению халькозина в борнит и в халькопирит, что привело к обеднению медью. Эйзентраут установил, что главная медная минерализация начиналась на различных стратиграфических горизонтах, но всегда непосредственно после исчезновения красных пятен; он считает это явление веским доказательством сингенетичности минерализации, ставя в связь отложение меди с началом образования загрязненных донных осадков.

И Эйзентраут и Нейгауз, оба предполагают последовательное сингенетическое отложение сульфидов из гомогенных растворов, причем металлы, по их мнению, вероятно, произошли в результате выветривания рудных месторождений Исполиновых гор, а возможно, и из месторождений, ассоциированных с эруптивными породами Красного лежня. Стратиграфический отрыв минерализации от цехштейнового конгломерата рассматривается как несовместимый с теорией «дерновых медных руд» («Rasenkupferstein»). Нейгауз хотя и соглашается с тем, что агрегаты пирита представляют собой «минерализованные бактерии», но утверждает, что отложение рудных минералов является в основном процессом неорганического характера.

Западная Германия

Несмотря на проведенное бурение в нижнем цехштейне Западной Германии, здесь не было найдено новых рудных месторождений. На юге, там, где береговая линия цехштейна проходила по восточному краю Рейнских сланцевых гор, медь встречается в краевой фазе цехштейна, известной как фация медистого суглинка. Эти краевые пласты отличаются большой мощностью

и изменчивостью в литологическом отношении, так что провести сопоставление здесь трудно; медистый суглинок, меденосные и известковые или песчаные глинистые сланцы встречаются не в одном только горизонте, а в некоторых случаях и в верхнем цехштейне. Данные бурения, проведенного в Спессарт — Фогельсберге, показали наличие латерального перехода от медистого сланца к медистому суглинку и бедной и непостоянной минерализации, обычно с преобладанием свинца и цинка.

В тех местах северо-западной Германии, где встречаются медистые сланцы, они сохраняют свои литологические особенности, но содержание в них меди невелико. В скважинах, проведенных в устьях рек Эльбы и Лис близ Эльмсхорна и Штаде, содержание меди незначительно; о присутствии здесь свинца и цинка вовсе не упоминается. По сообщению Хаака (1941), в округе Оснабрюк (фиг. 87) медистые сланцы содержат обильный галенит, а нередко также и сфалерит; в Хюггеле отмечена медь. Цинк, повидимому, широко распространен в покрывающем цехштейновом известняке, содержащем барит, пирит, галенит, цинковую обманку и смитсонит, часто в виде друз и гнезд, иногда в виде обширных жильных месторождений, равно как и крупных рудных тел замещения из сидерита, лимонита и железистого флюсового известняка. Немецкие авторы не склонны признавать наличия взаимосвязи между сульфидами, находящимися в известняках, с сульфидами, содержащимися в медистых сланцах; мало говорится ими о происхождении руд, не устанавливаются ими также источники железосодержащих растворов и не решается вопрос, являются ли растворы восходящими или нисходящими. Однако, поскольку в других районах цинковая обманка присутствует, начиная с медистых сланцев и вверх до среднего цехштейна, автор склонен предполагать, что и тут она может быть частью той же самой минерализации. В бассейне Мюнстера, в округах Рура и Нижнего Рейна, по данным Циммерманна (по Фульда — 1935 г.), медистые сланцы содержат только небольшие количества меди и серебра; часто упоминается галенит, наблюдавшийся макроскопически в штуфах.

Северо-восточная Англия

Адамом Сэджвиком в 1829 г. была установлена эквивалентность Дурхэмских мергелистых сланцев и Медистого сланца. Он отметил присутствие галенита и цинковой обманки в мергелистом сланце и в покрывающих его известняках и утверждает, что эти минералы «почти одновременны» с вмещающими их породами. Мы располагаем очень скудными данными относительно содержания металла в мергелистом сланце, и наличие минерализации типа медистого сланца обычно упускается из виду. Это может

быть обусловлено тем, что медные минералы встречаются в английских пермских породах крайне редко. Знаменательно, однако, что, описывая минерализацию в пермских породах Южного Дурхэма, Фаулер (1943) говорит о присутствии галенита только в основании системы; галенит был им найден в трех из четырех исследованных им буровых скважинах: в двух случаях в мергелистом сланце и в третьем — в основании нижнего известняка. Хотя он наблюдается главным образом в трещинах, он был отмечен в виде тонких пленок также, повидимому, и в ненарушенной породе. После обсуждения нескольких возможных здесь случаев Фаулер оставляет открытым вопрос о происхождении этой минерализации. Однако Вестолл (1943), основываясь на факте наличия цинковой обманки, галенита, халькопирита и малахита в ископаемых рыбах мергелистого сланца, высказывает предположение, что оруденение было первично сингенетическим, так же как и минерализация медистого сланца, со вторичной миграцией в вышележащие пласты, обусловливающей эпигенетические соотношения.

Здесь мы можем только вкратце остановиться на результатах наших собственных, пока находящихся еще на ранней стадии, работ по мергелистому сланцу. В петрографическом отношении типичный черный или темносерый Дурхэмский мергелистый сланец походит на Медистый сланец, хотя содержит обычно больше доломита и вовсе не содержит макроскопических выделений сульфидов. Анализы показали присутствие от 0,5 до 4% FeS_2, причем почти исключительно в виде мириадов пиритовых шариков диаметром от 4 до 15 (большей частью 8) микронов, состоящих из мельчайших кристаллических иголок, идентичных «минерализованным бактериям» Шнейдерхёна. Количественные определения некоторых металлов были проведены в Имперском институте В. Беннетом; анализировались типичные «неминерализованные» образцы, любезно предоставленные К. Дэнхемом из коллекций Геологического бюро. Образец Е. 21046 из «Десятичасовой» буровой скважины № 2, в Баттеруике, согласно неопубликованным данным анализа, проведенного Геологической службой, показал приблизительно следующий состав: 45% доломита, 5% кальцита, 40% глинисто-сланцевых минералов, 5% углеводородов и 4% пирита. Этот образец затем был подвергнут исследованию на содержание микроэлементов; были получены следующие результаты (в единицах на миллион): ванадия 950, свинца 500, молибдена 310, никеля 230, меди 120, кобальта 30, цинка 20 (или меньше) и хрома 13. Образцы из Блэкхолл Коллиери (MR9113) и из Каллеркотс обнаружили те же величины содержания свинца, меди и цинка, колеблющиеся для этих трех находящихся на большом друг от друга расстоянии местностей в следующих пределах: свинец от 400 до 700, медь от 90 до 120 и цинк от 20 и

менее, так что эти величины могут, повидимому, быть приняты за приближающиеся к средним для неминерализованного мергелистого сланца. Содержание серебра слишком мало, чтобы оно могло быть определено обычными аналитическими методами (менее 0,2 на миллион). Это сочетание металлов найдено в Медистом сланце и в сапропелевых глинистых сланцах. В то время как содержание меди для сапропелевых глинистых сланцев представляется нормальным, здесь наблюдается большая концентрация свинца, но небольшое количество цинка.

Галенит и цинковая обманка видны в верхней части мергелистых сланцев в двух обнажениях в южном Дурхэме. В карьере Сиклей (не эксплоатируется), где пласт достигает 115 *см* мощности, местами встречаются мелкие крапинки галенита на расстоянии около 30—90 *см* от основания; между 65 и 80 *см* кверху иногда имеются очень тонкие прослойки, одна или более, с устойчивым содержанием галенита. Эти слои от 2 до 3 *мм* мощности состоят из более светлого и несколько более крупнозернистого доломита с меньшим содержанием углеродистого вещества, чем вмещающая тонкослоистая осадочная порода. Мелкие отдельные зерна галенита рассеяны по всей толще доломита; иногда они замещают его, а также детритовые кварцевые зерна, и сопровождаются в некоторых случаях более крупнозернистой цинковой обманкой. В одном пункте установлено наличие четырех таких слоев, а на расстоянии 40 *м* от него в следующем же доступном обнажении имеется только один слой, но он прослеживается на все 8 *м*, которые поддаются обследованию. Анализ двух тонких слоев (8—9 *мм* толщиной) показал наличие в первом случае (а) 1,19% свинца и 0,05% цинка и во втором случае (б) 1,33% свинца и 0,34% цинка; это указывает на то, что тонкий минерализованный слой, имеющийся в каждой из пластинок, содержал в (а) около 4% свинца и 0,2% цинка и в (б) около 6% свинца и 1,5% цинка. Однако, за исключением этих слоев, мергелистый сланец здесь содержит только около 0,04% свинца. Пласт мощностью 60 *см*, включающий минерализованные слои, поэтому содержит только около 1—1,5 *кг/м*^{2} свинца и очень немного цинка.

В Феррихилл Стэйшен галенит обнаружен в мергелистом сланце, достигающем и здесь мощности 115 *см*, в тонких песчаных слоях, залегающих на расстоянии около 85 *см* от основания; в последующем 20-сантиметровом слое встречаются случайные агрегаты светлой цинковой обманки до 2 *см* в диаметре, с отдельными кристаллами в 5 *мм* в поперечнике, и многочисленные ходы аннелид, показывающие слабую минерализацию. Последние имеют 1—2 *см* в диаметре и 8 *см* и более в глубину, под крутым углом к напластованию; они выполнены светлым доломитом, не содержащим углеродистого вещества и содержащим раковины и

обломки других окаменелостей, не встречающиеся в окружающей известковой осадочной породе. В них присутствуют в небольших количествах галенит, пирит, сфалерит, барит и диккит.

Мы считаем эту низкопроцентную минерализацию диагенетической и полагаем, что металлы были осаждены вместе с загрязненным илом или в нем; они кристаллизовались в виде сульфидов, часто метасоматически, в более крупнозернистых чистых или песчаных карбонатных слоях и в рыхлых выполнениях ходов червей, более проницаемых, поскольку вода была вытеснена из ила до затвердевания. В других местах, однако (например, в Каллеркотс), цинковая обманка, пирит, галенит, карбонаты и диккит находятся в узких поперечных трещинах в мергелистом сланце, в условиях, сравнимых с бедной сульфидной минерализацией, которая сопровождает барит и флюорит в магнезиальном известняке и которая описана Фаулером (1943) и Дэнхемом, Кларингбуллом и Баннистером (1948). В отношении мергелистого сланца можно полагать, что находящиеся в трещинах сульфиды образовались из самого пласта путем латеральной секреции; в отношении же сильно проницаемого известняка, в котором прямые признаки присутствия первичных сульфидов отсутствуют и вторичное перераспределение минералов почти неизбежно, решение этого вопроса сложное. Возможность первичного осадочного происхождения сульфидов в пермских породах Дурхэма, как это полагают Дэнхем (1934) и Вестолл (1943), подтверждается этими наблюдениями над мергелистыми сланцами и признанным фактом широкого распространения свинца и цинка в Медистом сланце и в цехштейне.

Современные теории и проблемы, относящиеся к медистым сланцам

Объяснение генезиса медистых сланцев, выдвинутое Фульда (1929, 1935 А и 1935 В, 1941), дает много оснований для дискуссии, так как поднимает несколько важных противоречивых вопросов. Он считает, что цехштейновый конгломерат образовался непосредственно из подстилающего его Красного лежня путем выветривания и выщелачивания. На этой доцехштейновой поверхности, лежавшей ниже уровня моря и покрытой скудной растительностью, просачивающиеся воды растворяли металлы подстилающих пород и аккумулировали их в депрессиях, где они вследствие испарения образовывали минерализованную корку «дерновых медных руд» («Rasenkupferstein»). Внезапно надвинувшееся море уничтожило растительность и отложило известковистый загрязненный кальцито-гипсовый ил, осадок медистого сланца, а богатая сульфатами морская вода растворила минерализованную корку. На значительно более поздней стадии, во

время литификации, сульфиды металлов выделились в глинистом сланце, диагенетически (хотя в одном месте в работе 1935 г. (B) Фульда говорит «эпигенетически») замещая глинистый сланец, кальцит и гипс. Он рассматривает седиментацию как катаклизмовый эпизод, более краткий, чем срок жизни рыб, принесенных наступившим морем и вскоре, как он полагает, убитых теплыми водами моря Медистого сланца.

С другой стороны, Лотце (1938) рассматривает конгломерат, как нормальный трансгрессивный осадок периода цехштейна, а длительность осаждения медистого сланца может, по его мнению, определяться по нормальной шкале геологического времени. Другие возражения против теории дерновых медных руд, основанные на данных полевых наблюдений, уже упоминались нами выше. Однако, исходя из геохимических положений, Гольдшмидт (1937) пришел к выводам, подтверждающим с некоторых точек зрения объяснения Фульда; он полагает, что медистый сланец «полностью или частично может быть обязан своим существованием эрозии и переотложению старых, богатых гумусом почв», поскольку в нем «мы находим ассоциации редких элементов, имеющие много общего с соединениями элементов, наблюдаемых в гумусных почвах и в гумусных углях».

«Битум» медистых сланцев содержит в себе около 83% фиксированного углерода. В своем описании Фульда характеризует его как углистый, предполагая, повидимому, что он произошел главным образом из наземных растений. Зигль (1941), наоборот, установил, что он бесструктурен, и определяет его как битум, утративший летучие компоненты. Это высказывание лучше согласуется с мнениями Потонье (1938) и Берга, а также Фриденсбурга (1941), относящих медистые сланцы к сапропелевым образованиям, предполагая, что планктон явился источником углеводородов. Микроэлементы сапропелевых глинистых сланцев, особенно ванадий, молибден, никель и кобальт, несомненно, присутствуют в медистом сланце в таких же количествах, как это видно из аналитических данных табл. 36, показывающих содержание этих составных частей.

Автор склонен считать, что как гумусная почва, так и сапропелевый ил содействовали образованию сложной ассоциации металлов в медистых сланцах. Это положение дает более вероятное объяснение их сложности, чем только допущение минерализации последовательными эпигенетическими растворами различных видов. В частности, этими процессами присутствие ванадия, молибдена, никеля и др. объясняется лучше, чем, по предположению Уайта (1942), в минерализации типа Садбери объясняется наличие кобальт-никелевых арсенидов. В медистых сланцах установлено присутствие 35 металлов, но все они в среднем содержатся в количествах от долей до (максимально) десяти-

двадцатикратных величин среднего их содержания в земной коре. Присутствие четырех металлов — цинка, свинца, меди и серебра (а возможно, и их обычных спутников — кадмия, мышьяка, сурьмы, висмута и драгоценных металлов), обнаруженное на обширных площадях в количествах, в сотни раз превышающих их среднее содержание в земной коре, отличает медистые сланцы от других черных осадочных пород этого типа.

Таблица 36

АНАЛИЗЫ МЕДИСТЫХ СЛАНЦЕВ

Порода	Содержание металлов в миллионных долях					
	V	Cu	Mo	Ni	Co	Cr
Посидониевый лейасовый глинистый сланец, Шнефлинген, Гановер [1] . .	50—640	50—540	0—230	0—250	0—40	50—250
Диктионемовый квасцовый сланец, Остерготланд, Швеция [2]	700—2100	60—200	110—160	100—240	20—50	—
Медистый сланец, Германия [3]	400—2000	100—3%	150—300	40—400	30—180	10—100
Мергелистый сланец, Дурхэм [4]	950	90—120	310	230	30	13

[1] А. Шрёдер, *Arch. f. Lagerst.*, H. 77, 1944.
[2] А. Вестергорд, *Sver. Geol. Undersök*, С. № 463, 1914.
[3] Разные источники.
[4] См. предыдущую страницу.

В медистых сланцах и их эквивалентах установлено наличие бесчисленных мельчайших сфер пирита, сложенных плотно упакованными идиоморфными кристаллами. После того как в 1923 г. Шнейдерхён впервые описал их как «минерализованные бактерии», возник целый ряд гипотез по этому вопросу. С тех пор подобные же формы были установлены и в других сульфидных месторождениях, в квасцовых и битуминозных сланцах, а также в угле и нефти. Некоторыми авторами выдвигались для их объяснения различные бактериальные теории; другие, например Шоутен (1946 B), возражали против них. На основании личных наблюдений я убедился в том, что эта форма является нормальной и характерной формой, в которой пирит встречается во многих черных илах, глинистых сланцах и в других тонкозернистых осадках. Шарики особенно часто наблюдаются в сапропелях, и каковым бы ни было их происхождение, присутствие их в меди-

стых сланцах только подчеркивает сапропелевую природу и пассивную роль сланцев в отношении пиритовой минерализации.

Новейшие микроскопические исследования Мансфельдских руд показали, что сульфиды образуются путем замещения. Шоутен (1937 и 1946 A и 1946 B) показал, что сульфиды меди, галенит и цинковая обманка неизменно псевдоморфны по пириту и марказиту, карбонатам и (в железистом песчанике) кластическому кварцу и полевому шпату. Пирит и марказит, повидимому, были здесь единственными первичными сульфидами; иногда различима последовательность замещений — цинковая обманка, борнит, халькозин и халькопирит. Этот автор не нашел данных, которые подтверждали бы сингенетическое происхождение рудных сульфидов; нет здесь гелевых структур, но имеются ясные признаки метасоматического замещения эпигенетическими растворами цинка, свинца и меди. К сожалению, он не высказывает своего суждения по поводу источника и возраста этих растворов. Зигль (1941) интерпретирует все сульфиды как образовавшиеся в результате замещения: пиритовые сферы как диагенетические замещения кальцитовых сфер, а рудные сульфиды, которые, по его наблюдениям, редко замещают друг друга, как эпигенетические гидротермальные замещения скорее кальцита, чем пирита. Он приводит наличие в железистом песчанике дигенита со структурами распада как доказательство местного наличия температур выше 91° C; в свете последующей работы Рамдора по сульфидам меди этот вопрос, однако, остается открытым. Реакция германской сингенетической школы на эти разъяснения видна на примере разбора книги Шоутена Шнейдерхёном (1937); в этой работе он высказывает предположение, что замещения произошли главным образом во время диагенезиса. В дальнейшем Шнейдерхён (1944) снова подтвердил свое мнение, что происхождение минерализации сингенетично, основываясь при этом, в частности, на геологических доказательствах Рихтера.

Уайт (White, 1942) высказывал мнение о глубокозалегающем эпигенетическом источнике мансфельдских руд. Он полагает, что восходящие растворы обесцветили Белый лежень, минерализовали глинистый сланец и сократили содержание железа в покрывающем известняке, причем, повидимому, последний был первоначально таким же красным, как существующая сейчас «красная гниль» («rote Fäule»). Для того чтобы объяснить сложную ассоциацию металлов, он выдвигает гипотезу о существовании двух периодов минерализации: во-первых, борнита и халькозина и, во-вторых, никель-кобальтовых арсенидов, халькопирита и пирита. Сбросы Рюкена он рассматривает как каналы минерализации, несмотря на явную очевидность того, что гидротермальные растворы в Рюкене вызвали только местные изменения вторичного порядка в медистом сланце. Следует также отметить, что

Гаусбранд (1938) в региональном обзоре кобальтоносных образований Рюкена утверждает, что содержащиеся в них никель и кобальт произошли из медистых сланцев под влиянием циркуляции грунтовых вод.

Мы попытаемся дать здесь несколько обобщений на основании имеющихся данных и противоречивых высказываний. Геологические данные, повидимому, говорят в пользу сингенетического происхождения металлов медистых сланцев и их эквивалентов; их широкое распространение наводит на мысль, что это отложение пирита и сульфидов тяжелых металлов может рассматриваться как начальная подчиненная фаза в последовательной серии химических осадков — карбонатов, сульфатов, галидов, которые характеризуют цехштейн. Металлы, присутствующие в ничтожном количестве (следы), могут быть отнесены к числу типичных для старых гумусовых почв и сапропелей, но имеющееся количество цинка, свинца, меди и серебра указывает на то, что тут имел место приток растворов, уже обогащенных этими металлами; теория просачивания атмосферных грунтовых вод из Красного лежня в море цехштейна в том виде, как ее проповедует Рихтер, во многом подтверждается. В Западной Германии и в Англии, там, где Красный лежень отсутствует, мог иметь место в меньшем масштабе такой же процесс в основании карбона, что может объяснить меньшую степень минерализации в этих областях. Вертикальная последовательность меди, свинца и цинка в связи с изменением величины потенциала и в связи с общим порядком растворимости сульфидов полностью не выяснена, однако, вероятно, она является скорее результатом осадочного отложения, чем гидротермальной глубиной зональности или последовательного замещения. Ввиду отсутствия удовлетворительного объяснения происхождения и селективного поведения эпигенетических растворов автор рассматривает структуры замещения сульфидов как диагенетические замещения. Последние широко распространены в других осадочных формациях, как, например, оолитовые железные руды, так что нет оснований сомневаться в их присутствии в осадочных сульфидных месторождениях.

ДИСКУССИЯ

Д. Браун прежде всего, естественно, выражает сомнение в сингенетическом происхождении руд, принятом автором; сам он предпочитает теорию о нормальном магматическом происхождении как более рациональную для любого исключительного обогащения осадочных пород этими типичными, нормально магматическими сульфидами. Он готов согласиться с тем, что всякая концепция происхождения таких эпитермальных руд, как эти, должна допускать, что рудные флюидные растворы были, видимо, отложены в водных условиях, т. е. находились в преобладающем количестве воды. Присутствие марказита и вюртцита (исправление: автор утверждает, что в этой области нет вюртцита) указывает на то, что, во всяком случае частично, осаждение происходило из подкисленных растворов.

Относительную редкость сульфида меди он считает естественным результатом малой летучести этого сульфида. Только очень небольшое количество его достигает эпитермальной зоны. Обратные обычным зональные соотношения между сфалеритом и галенитом (галенит в магматическом месторождении более летуч и должен быть отложен выше сфалерита) являются дальнейшим доказательством того, что растворение рудных флюидных растворов в воде стало преобладающим, а потому скорее отношения растворимости, чем отношения летучести, определили зональное распределение руд на этой стадии. Сфалерит, будучи более растворимым, чем галенит, может передвигаться в растворе дальше, и в других местах такие обратные явления были отмечены в ряде случаев.

Т. Вестолл заявляет, что он заинтересовался минерализацией в мергелистом сланце в связи с открытием сульфидов в различных образцах окаменелых рыб и пресмыкающихся. Большинство рыб к тому времени, когда литификация уже сильно продвинулась, было сплюснуто, а хрящи и эндоскелет большей частью были разрушены под влиянием мацерации и бактериальной деятельности. Но в некоторых образцах основные структуры частично замещены рудными минералами — галенитом, цинковой обманкой, халькопиритом, борнитом и различными другими минералами, вроде малахита,— там, где имело место выветривание. Эти образцы ясно указывают на то, что их минерализация произошла до окончательного уплотнения и литификации осадков.

В. Джонс указал на то, что наличие в Мансфельде небольших жил, содержащих кобальт, может служить доказательством эпигенетического происхождения.

Т. Динс, отвечая Я. Брауну, говорит, что, по его мнению, представляется опасным на данной стадии делать какие-либо обобщения в отношении генезиса столь различных типов низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений. Из числа различных так называемых осадочных сульфидных месторождений он избрал для изучения медистые сланцы, так как считает их особенно характерным осадочным свинцово-цинковым месторождением, но он не сопоставлял его с другими месторождениями. Динс очень благодарен д-ру Вестоллу за его сообщение и примет его во внимание в дальнейшей своей работе. Что касается замечания В. Джонса, то он соглашается с тем, что кобальтовые тела Мансфельда представляют собой эпигенетические жилы, но, как это отмечено в его обзоре, изучение их характера на более обширных территориях показало, что наличие в них руды может быть лучше всего объяснено тем, что она образовалась из медистых сланцев под воздействием циркуляции атмосферных вод.

ЛИТЕРАТУРА

Berg G. and Friedensburg F., Kupfer. Die Metallischen Rohstoffe, 4, Stuttgart.

Dunham K. C., The Genesis of the North Pennine Ore Deposits. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, **90**, 689, 1934.

Dunham K. C., Claringbull G. F. and Bannister F. A., Dickite and Collophane in the Magnesian Limestone of Durham. *Miner. Mag.*, **28**, 338, 1948.

Eisentraut O., Der niederschlesische Zechstein und seine Kupferlagerstätte. *Arch. Lagerst.-Forsch.*, H. 71, 1939.

Fowler A., On Fluorite and other minerals in the lower Permian rocks of South Durham. *Geol. Mag.*, **80**, 41, 1943.

Fulda E., Zum Problem des Kupferschiefers. *Jb. preusz. geol. L. — A. f. 1928*, **49**, 2, 1929.

— Die Vorräte der Kupferlagerstätten Deutschlands. Copper Resources of the World, II, 581. XVI Int. Geol. Congr. Washington, 1935A.

Fulda E. et al., Handbuch der vergleichenden Stratigraphie Deutschlands: Zechstein, Berlin, 1935B.
— Der Zechstein. Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, **1**, 130, Oldenburg, 1941.
Gillitzer C., Durch welche Bedingungen oder Einflusse sind Metallanreicherungen im mitteldeutschen Kupferschiefer gebildet worden? *Metall. u. Erz.* **32**, 533, 1935.
— Die Geologie der Erzanreicherungen in mitteldeutschen Kupferschiefer. *Jb. hallesch. Verb.*, **15**, 9, 1936.
Goldschmidt V. M., The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. *J. Chem. Soc.*, **1**, 655, 1937.
Gregory J. W., The copper shale (Kupferschiefer) of Mansfeld. *Trans. Inst. Min. Met.*, **40**, 1, 1930.
Haack W., Das Palaeozoikum des Osnabrücker Landes. Geologie und Lagerstätten Niedersachsens, **1**, 105, Oldenburg, 1941.
Hausbrand O., Der ehemalige Kobaltbergbau auf den sogenannten Zechsteinrücken. *Zeits. f. Berg-Hütten- v. Salinenwesen*, **86**, 127, 1938.
Kautzsch E., Untersuchungsergebnisse über die Metallverteilung im Kupferschiefer. *Arch. Lagerst.-Forsch.*, 74, 1942.
Lotze F., Steinsalz und Kalisalze. Geologie. Berlin, 1938.
Neuhaus A., Über die Erzführung des Kupfermergels der Haaseler und der Gröditzer Mulde in Schlesien. *Zeits. f. angew. Mineral.*, 2, 3, 304, 1940.
Potonié R., Die Nomenklatur der Unterwasser-Ablagerungen. *Jb. preusz. geol. L. — A.*, **58**, 426, 1938.
Richter G. Geologische Gezetzmässigkeiten in der Metallführung des Kupferschiefers. *Arch. Lagerst.-Forsch.*, 73, 1941.
Schneiderhöhn H., Review of Schouten (1937). Neues Jb. Min., Ref., T. II, 735, 1937.
— Erzlagerstätten. Jena, 1944.
Schouten C., Metasomatische Probleme. Amsterdam, 1937.
— Some Notes on Micro-Pseudomorphism. *Econ. Geol.*, **41**, 348, 1946A.
— The Role of Sulphur Bacteria in the Formation of the So—Called Sedimentary Copper Ores and Pyritic Ore Bodies. *Econ. Geol.*, **41**, 517, 1946B.
Sedgwick A., On the Geological Relations and internal structure of the Magnesian Limestone. *Trans. Geol. Soc.*, **3**, 37, 1829.
Siegl W., Zur Genesis des Kupferschiefers. *Min. Petr. Mitt.*, **52**, 6, 347, 1941.
Trask P. D., The Origin of the Ore of the Mansfeld Kupferschiefer, Germany, *Econ. Geol.*, **20**, 746, 1925.
Westoll T. S., Mineralization of Permian Rocks of South Durham. *Geol. Mag.*, **80**, 119, 1943.
White C. H., Notes on the Origin of the Mansfeld Copper Deposits. *Econ. Geol.*, **37**, 64, 1942.

Д. ШИРЛЕЙ[1]

СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД В МЕСТОРОЖДЕНИИ МИЛЛКЛОЗ

Краткое содержание

Свинцово-цинковые руды Дербишира находятся в жилах и залежах, в нижнекарбоновом известняке. Они сосредоточены в юго-восточной части известняковой области. Верхний экранирующий горизонт сложен глинистыми сланцами Идэль верхнего карбона (Намюрские слои), но внутри толщи известняка рудные тела обычно бывают перекрыты базальтовыми лавами или туфами. Их форма и распределение в сильной степени контролируются второстепенными складками. Рудные залежи Миллклоз прослеживаются вглубь от поверхности последовательными ступенями под лавами, или туфами, причем во всех случаях они расположены в висячем боку так называемой главной трещины; последняя хотя и представляет собой явно «питающий канал», но вовсе не содержит в себе руды или если и содержит ее, то только в небольшом количестве.

Горизонты известняков этого месторождения сопоставлены со стандартным разрезом нижнего карбона. Опровергается предположение, что местонахождение крупных рудных тел ограничивается одними верхними известняками. Рудные тела находились на больших глубинах. В самом нижнем из достигнутых горизонтов обнаружено присутствие малых количеств меди и никеля (бравоита). В 1940 г. после 200-летней эксплоатации месторождение было окончательно заброшено.

Структурная карта, основанная на данных последних съемок территории Матлок, показывает тесную связь между рудными телами (существующими в настоящее время и ранее разрабатывавшимися) и структурами. Из карты вытекает также то, что хотя в настоящее время на данной территории нет известных запасов руды, однако имеется полная возможность, что они могут быть открыты в дальнейшем.

Введение

Рудник Миллклоз расположен близ селений Венслей и Дарлей Дэль в Дербишире на серии жил в известняках карбона, прослеживаемых под нижним горизонтом глинистых сланцев Идэль серии песчаника Миллстон верхнего карбона. Месторождение разрабатывалось с 1720 по 1778 г. и вновь — с 1859 по 1940 г. До 1929 г. вся руда добывалась из верхних известняков, причем покрывающей породой являлись глинистые сланцы Идэль. После 1929 г. руда добывалась из лежащих ниже известняков последовательными ступенями книзу и в стороны, в северном направле-

[1] J. Shirley, доцент кафедры геологии Университета в Дурхэме, Ньюкастль.

нии, до тех пор пока не была достигнута глубина более 300 *м* ниже устья шахты Ли.

Сведения о разработках в месторождении и о местонахождении руд мы находим у Стакея (1917), Варвилла (1937) и особенно у Трэйла (1940). Ранняя история рудника была описана Райстриком (1938). Автором настоящей статьи по собственной его инициативе была проведена в 1940 г., до закрытия рудника, его стратиграфическая съемка. Примененный метод состоял в сборе окаменелостей, в основном кораллов, из всех доступных обнажений и в корреляции этих пунктов с уже известными горизонтами. В этой работе ценным руководством послужили измеренные Трэйлом детальные разрезы.

Стратиграфический разрез

В Дербишире обнажается толща нижнекарбоновых известняков мощностью приблизительно 450 *м*, включающая последовательно (снизу вверх) зоны S2, D1 и D2. Над указанными известняками имеется еще свита известняков крайне неравномерной мощности, обнимающая различные литологические типы, часто переходящие в горизонтальном направлении в так называемые рифовые известняки, состоящие главным образом из скоплений обломков криноидей и раковин брахиопод. Они залегают несогласно на лежащих ниже известняках. С явным несогласием залегают на известняках глинистые сланцы Идэль, самые нижние из глинистых сланцев серии Миллстонского песчаника.

Разрез известняков месторождения Миллклоз включает толщу от самых верхних «рифовых» известняков, через известняки D2 до известняков D1. Известняки S2 в разрезе не вскрываются. Известняки разделены современными и базальтовыми лавами и туфами, известными под местным названием кротового камня (toadstones). Каждый поток имеет ограниченное распространение, причем их корреляция представляет собой весьма сложную проблему, особенно из-за однообразного их характера и относительно ограниченного количества обнажений. Однако очень важно знать их горизонты и протяженность в пределах границ каждой перспективной рудной территории, поскольку они контролировали движение минерализующих растворов, а в настоящее время направляют движение грунтовых вод. Иными словами, вследствие их относительной непроницаемости по сравнению с трещиноватыми кавернозными известняками, они сыграли роль покрывающих пород для рудных тел и подошвы для грунтовых вод.

Исследование изверженных пород Дербишира привело Бемроза (1907) к предположению, что существовали два лавовых потока на северном (Миллерс Дэль и Кэстльтон) участке и два на участке Матлок. Но, по мере более углубленного изучения

стратиграфии и палеонтологии известняков, выяснилось, и теперь представляется несомненным, что на каждом участке имеется по нескольку потоков на различных горизонтах. Их корреляция и стратиграфическое положение установлены на основании тщательного изучения соотношения, существующего между разделяющими их известняками. Необходимо отметить, что сопоставление на основании измерения расстояний от несогласно залегающей подошвы глинистых сланцев Идэль совершенно бесполезно и привело ко многим ошибкам.

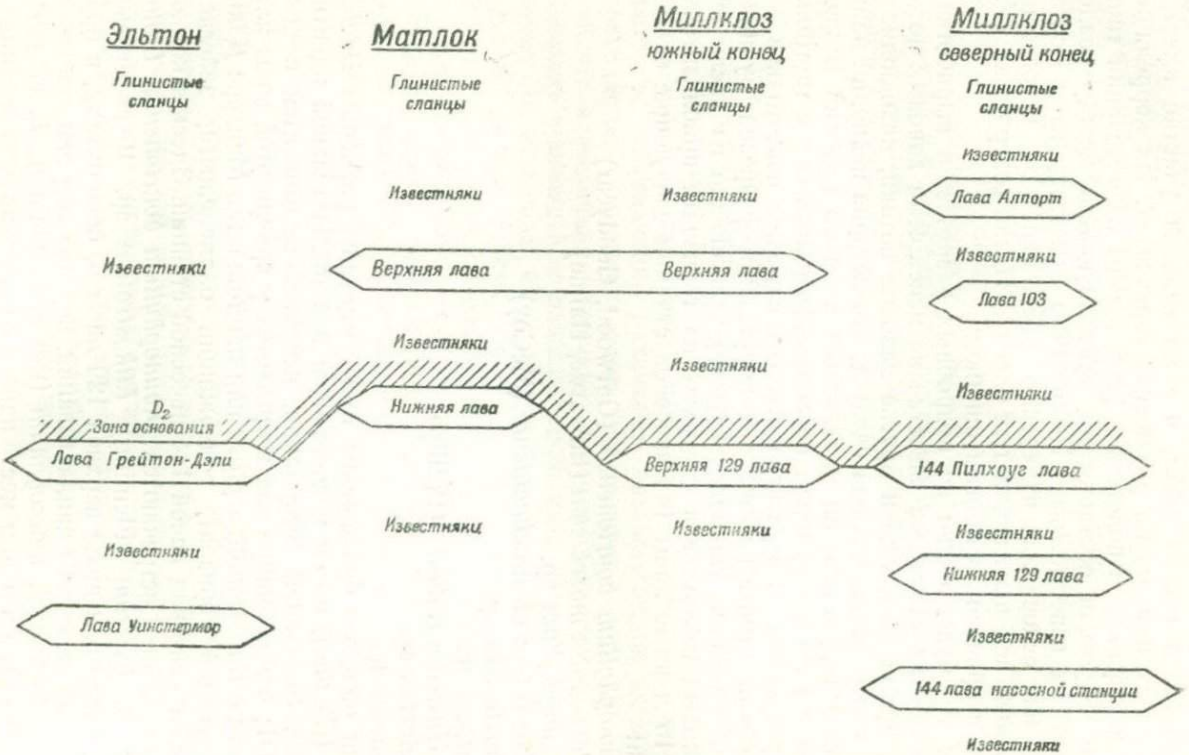
Как это будет видно из подробных разрезов, в выработках месторождения Милллклоз известно не менее семи лавовых потоков, а, кроме того, еще и другие лавовые потоки, находящиеся вблизи поверхности. Отсюда следует, что история излияний лавы на данной территории на протяжении нижнего карбона исключительно сложна, и ее могут восстановить только самое тщательное картирование и стратиграфическое изучение известняков.

Широкая стратиграфическая корреляция разрезов рудника точно обоснована. Наиболее глубоко залегающие из числа исследованных известняков содержат на горизонте приблизительно на 15 *м* ниже лавы 144 насосной станции следующие окаменелости:

Dibunophyllum bourtonense (Garwood, Goodyear)
Palaeosmilia murchisoni (Edwards, Haime)
Carcinophyllum sp.
Lithostrotion cf. *arachnoideum* (McCoy)
Lithostrotion sp.
Martinia sp.
ср. *Hustedia radialis* (Phillips)
Productus sp.
Chonetes sp.

Один обломок брахиоподы имеет строение раковины *Davidsonina* (*Cyrtina*), но он недостаточен для окончательной идентификации. Указанная ассоциация, несомненно, относится к возрасту D1; в Дербишире она встречается у кровли этой зоны или в пластах с *Davidsonina septosa* или же в пластах Миллерс Дэль.

Следующий горизонт, содержащий окаменелости, залегает непосредственно над лавой 144 насосной станции. Здесь в комковатом известняке встречаются *Dibunophyllum bourtonense, Lithostrotion* cf. *junceum* (Fleming), *Lithostrotion* sp. В некоторых местах, около 5 *м* ниже верхней 129 лавы и, повидимому, в пределах одной плоскости напластования, нередко встречаются колонии *Lithostrotion* cf. *maccoyanum* (Edwards, Haime), *L.* cf. *portlocki* (McCoy), а в одном месте найден один единичный экземпляр *Lonsdaleia floriformis* (Martin). Возраст этой коралловой толщи может быть с уверенностью отнесен к D1 по следующим основаниям: экземпляры наиболее обычного коралла *L.* cf. *maccoyanum*



Фиг. 88. Корреляционная таблица лав рудника Милллклоз и близлежащих территорий.

совершенно идентичны с кораллами, обнаруженными в пласте Миллерс Дэль, причем также и литология известняков совершенно сходна. То, что здесь встречен один экземпляр *L. floriformis*, говорит как будто против правильности такого вывода, но при углубленном изучении, проведенном вдоль сравнительно обширных обнажений этого горизонта, второго такого образца обнаружено не было. *L. floriformis* был найден в горизонтах, отнесенных в других местах к возрасту D1.

Над верхней 129 лавой наблюдается резкое изменение литологии. Вместо массивных, светлоокрашенных мелкозернистых известняков в более глубоких горизонтах мы видим тонкослоистые известняки с темнокоричневой или черной окраской. Самый нижний пласт (60-сантиметровый пласт Трэйла) представляет собой конгломерат. Темная толща известняков по направлению к поверхности тянется на 30 *м*, а затем эти темные известняки превращаются в светлые. 15-метровый слой, залегающий примерно на границе изменения окраски, отличается присутствием большого количества окаменелостей, причем в нем были найдены многочисленные кораллы в различных местах месторождения. Чаще всего здесь встречаются кораллы, принадлежащие к виду *Lithostrotion*, в частности *L. portlocki*, а также один древовидный вид. Нередко встречаются также *L.* cf. *junceum, Lonsdaleia floriformis, Palaeosmilia regia* (Phillips) и *Dibunophyllum bipartitum craigianum* (Thompson). Эта коралловая фауна распространяется начиная с глубины примерно 20 *м* над верхней 129 лавой (или над лавой 144 Пилхоу у северного края месторождения). Сходная зона, богатая такими же рифовыми кораллами, встречается в Лазкилл Дэль близ Юлгрив, а также в Мидлтон Дэль и в Кумбс Дэль в северной части известнякового участка, в месте или около места, где залегающие ниже темные известняки переходят в покрывающие светлоокрашенные и на таком же расстоянии от других известных горизонтов. Эта ассоциация принадлежит ко времени D2, причем подошва известняка D2 находится на подошве темных известняков непосредственно над верхней 129 лавой.

Известняки, залегающие над верхней лавой, содержат сравнительно мало кораллов; на горизонте около 24—33 *м* над этой лавой залегают два коралловых слоя, содержащие очень сходную фауну: *Dibunophyllum bipartitum* (Thomson), *Lithostrotion* off. *portlocki* Bronn, *Lithostrotion* spp., *Diphyphyllum* sp. В одном месте, по данным вычислений, находящемся на 33 *м* выше лавы, встречена *Orionastraea placenta* (McCoy), сопутствуемая теми же самыми кораллами, из чего следует, что данный коралловый горизонт является тем же, что и залегающий на кровле известняков D2 и встречающийся на обширных территориях в восточной части Дербиширского известнякового массива. Около 6—7,5 *м*

над верхней лавой известняки становятся сильно кремнистыми, причем они содержат очень большое количество раковин *Productus*. Точно такой же пласт залегает приблизительно в 24 *м* ниже пласта с *Orionastraea placenta* в Лазкилл Дэль и его боковых долинах.

Вышележащие известняки вскрываются в более старых выработках, нередко доступных только с опасностью для жизни, а иногда и недоступных вовсе, так что об их распределении можно судить, только основываясь на отдельных наблюдениях. На большой площади залегает известняковый блок, обладающий внешним видом, а также литологическими чертами и фауной типичного «рифового массива». Мощность его может достигать 60 *м*; он образует выступ вверх в основание вышележащих глинистых сланцев. Фауна полностью не изучена, однако было установлено присутствие следующих видов: *Productus* cf. *antiquatus* (Sowerby), *Productus* cf. *semireticulatus* (Martin) *ss.*, *Pustula* sp., *Avonia* sp., *Spirifer* sp., *Bryozoa*.

Верхняя поверхность известняка «рифового массива» неправильна, причем, повидимому, этот известняк выклинивается в южном направлении, поскольку он не появляется в шахте Ли, где последующие пласты идут непосредственно вслед за песчаниками примерно с горизонта пласта.

Самые верхние известняки этого месторождения в карьере Каудор Матлок носят наименование «Блэк Бэдс». Эти известняки, как правило, имеют серую или черную окраску; они тонкослоисты и содержат небольшое количество окаменелостей, по крайней мере в той своей части, которая оказалась доступной для исследования. Кусок черного известняка, обвалившийся сверху в вентиляционной шахте, содержал кораллы Cyathaxonid, сходные с таковыми из Блэк Бэдс карьера Каудор; это обстоятельство доказывает, что по своему стратиграфическому положению описываемые известняки залегают непосредственно под глинистыми сланцами. Они имеют весьма различные углы падения, поскольку сами они приспосабливаются к подстилающей бугристой поверхности массива рифового известняка. Эти углы падения индивидуальны и, как правило, не соответствуют падению масс рифовых известняков; они не подкрепляют существовавшего ранее предположения, согласно которому какая-то антиклиналь проходит через рудные разработки.

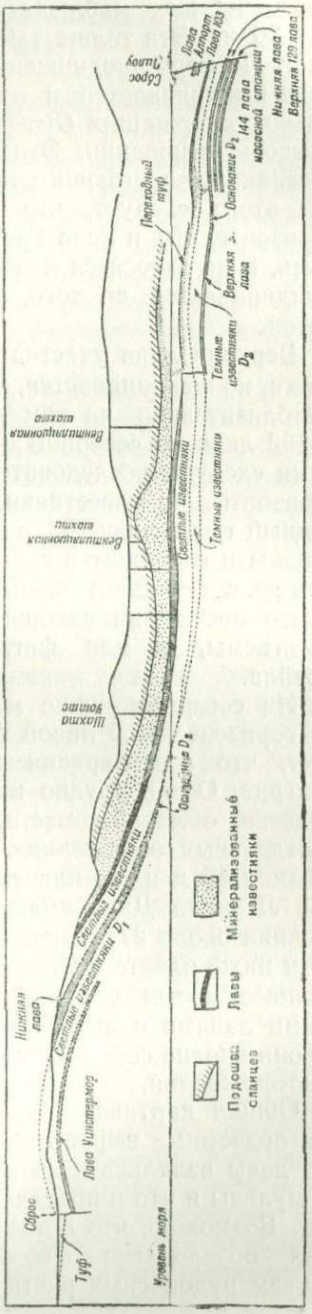
Подводя итоги корреляции известняков месторождения, мы констатируем, что те из них, которые залегают под верхней лавой 129, относятся к зоне D1 и эквивалентны пластам Миллерс Дэль и, может быть, иногда спускаются вниз до верхней части пластов Чи Тор. Известняки, начиная с верхней лавы 129 и до основания известняков «рифовых холмов», относятся к зоне D2. Известняки «рифовых холмов» по своему стратиграфическому

положению соответствуют известнякам Кэстльтон в северной части известнякового массива. Но поскольку в них не были обнаружены гониатиты, то их еще нельзя с уверенностью отнести к зоне B2. Известняки Блэк Бэдс, как известно, почти эквивалентны с известняками Нанлоу участка Кэстльтон, а потому они относятся к зоне P.

Сопоставление подземного разреза со стратиграфической колонкой территории

После того как нами установлен полный разрез горных пород месторождения, надлежит произвести более подробное сравнение со стратиграфической последовательностью пород, известных на поверхности. Из числа известняков D1 лава Уинстермор, выходящая на поверхность около фермы того же наименования, находится приблизительно на том же горизонте, что и лава насосной станции 144.

Считали, что граница между D1 и D2 проходит на горизонте так называемой Нижней лавы, так как богатая коралловая фауна D2 появляется непосредственно над этой лавой. За исключением слоя в несколько дециметров, залегающего непосредственно на лаве, последующие известняки имеют светлую окраску. Коралловые слои на нижней лаве являются аналогами рифовой коралловой зоны, залегающей около 30 *м* над верхней лавой 129 и также характеризующейся изменением окраски известняков. Между рудными выработками и



Фиг. 89. Разрез вдоль главного направления жилы Миллклоз. Вертикальный масштаб в два раза крупнее горизонтального.

поверхностью наблюдается перерыв, составляющий около 24—30 *м*. Эта толща темных известняков на поверхности выпадает. По мере продвижения на запад к Грейтон Дэль Нижняя лава выклинивается и под ней появляется ряд темных известняков, содержащих *Girvanella* и имеющих лаву Грейтон Дэль в своем основании. Эти темные известняки соответствуют известнякам, залегающим непосредственно над верхней лавой 129. Из этого следует, что данная лава находится на том же горизонте, что и лава Грейтон Дэль, хотя обе эти лавы, может быть, и не относятся к одному и тому же потоку. Нижняя лава выклинивается до того, как она достигает рудничных разработок.

Верхняя лава участка Матлок протягивается в рудные выработки, но выклинивается, не доходя № 1 Винце. Ее продолжением приблизительно на том же горизонте служит переходный туф и 103 лава на северном конце месторождения. Как полагают, за ними следуют последовательные, несколько ниже расположенные горизонты, но известняки, непосредственно подстилающие переходный туф и лаву 103, в литологическом отношении очень с ними сходны и содержат в себе точно те же окаменелости, *Diphyphyllum* sp. с крупными *corallites* и *Spirifer* ex gr. *striatus*. Ко времени моего посещения важнейшие разрезы месторождения были недосягаемы, и для фиг. 89 была сохранена интерпретация Трэйла.

На северном конце месторождения лава 103 перекрывается на горизонте 10,5 лавой Алпорт, мощностью 27 *м*; Трэйл полагает, что это Верхняя и Нижняя лавы участков Алпорт — Юлгрив. Очень трудно коррелировать какую-либо из лав этого участка с лавами месторождения, поскольку они встречаются в отдельных обнажениях. В Брэдфорд Дэль — Юлгрив на расстоянии 45 *м* ниже пласта с *Orionastraea* обнажается одна лава, а в Лазкилл Дэль имеются две лавы, расположенные на расстоянии около 27 *м* друг от друга, причем верхняя находится на 30 *м* ниже пласта с *Orionastraea*. На основании имеющихся в настоящее время сведений нельзя провести корреляцию между этими лавами с любой другой лавой в разрезе месторождения, но они вполне соответствуют лавам 103 и Алпорт северного конца месторождения.

Общая картина распределения лав вокруг мульды Стантон и в подземных выработках рудников Миллклоз указывает на то, что лавы излились из центров, расположенных к северу и к югу от мульды и что в пределах мульды они чередовались друг с другом. Возможно, что богатство рудных месторождений этого участка обусловлено многочисленными лавами, задержавшими подъем рудоносных растворов.

Горизонты рудных тел рудника Миллклоз и общие законы их отложения

Общие законы, лежащие в основе процесса отложения руды в Дербишире, были выявлены Трэйлом (1939); они аналогичны тем, которые были установлены Прескоттом для свинцово-серебряных месторождений северной Мексики. Законы эти состоят в следующем: подымающиеся минерализаторы распространялись латерально последовательными ступенями вверх, заполняя открытые трещины или замещая «благоприятные» известняки. Покрывающая порода каждого рудного тела представляет собой относительно малопроницаемый слой; в Дербишире — это лава или туф.

Если применить эти законы к манто Миллклоз, то сразу станет ясным, что каждое рудное тело было покрыто лавой или туфом; руда проходила последовательные ступени вверх до последнего экрана — глинистых сланцев Идэль. Главная трещина служила проводящим каналом; она хотя частично и минерализована, однако основная часть руды была отложена в виде пластовых залежей в висячем боку главной трещины. Начиная с самого глубокого из исследованных горизонтов, количество руды ниже лавы 144 насосной станции было невелико; найденные здесь куски медно-никелевого сульфида бравоита, как полагают, указывают на то, что здесь достигнута нижняя граница свинцово-цинкового оруденения. Поскольку лава 144 насосной станции образует здесь свод, то минерализующие растворы нашли путь кверху (настоящий канал, насколько нам известно, фактически еще не обнаружен). Следующая покрывающая порода — нижняя 129 лава, образовала кровлю одного рудного тела; считают, однако, что количество руды было незначительное. Растворы излились вверх, в известняк, залегающий ниже верхней 129 лавы. Следующая ступень начинается у № 2 Винце, пробивается к известняку под 103 лавой, которая протягивается на том же или на несколько выше лежащем горизонте под переходным туфом. Последний выклинился или сделался очень тонким, не доходя до Верхней лавы, приблизительно на том же горизонте и дал возможность растворам течь вверх к основанию глинистых сланцев и особенно в рифовые известняки. Все еще поднимаясь вверх, растворы прошли под покровом глинистых сланцев и выполнили трещины, а частично заместили известняки около Уинслея (часть манто Миллклоз, разрабатывавшаяся ранее других). Как видно из профиля (фиг. 89), известняки были смяты и образовали очень пологие своды и мульды, пересекающие главную трещину или расположенные к ней под углом; они погружаются приблизительно в восточном направлении. По мере своего продвижения вверх от каждого свода минерализующие растворы находили на

своем пути (несколько к югу и вверх по падению, в направлении к главной трещине) другой свод из покрывающей лавы или туфа, ожидающий выполнения. Главные проницаемые участки находятся у № 2 Винце (через Верхнюю 129 лаву) и у № 1 Винце, там где переходный туф выклинился или стал очень тонким в одном направлении (к северу), а Верхняя лава выклинилась к югу без перекрытия. Отсюда растворы проникли дальше кверху, к глинистым сланцам и рифовым известнякам, образующим опрокинутую чашевидную структуру под глинистыми сланцами. «Рифовый холм» содержал богатые рудные тела, разрабатывавшиеся до горизонта 90 *м* компанией London Lead в первые дни существования рудника. При углублении разработок было установлено, что участки разлома, использованные минерализующими растворами, являются каналами циркуляции грунтовых вод; эти каналы известны горнякам как «вскипающие», так как вода внизу находится здесь под влиянием артезианского давления.

Трэйл останавливается на вопросе о благоприятных типах известняков, причем делает следующие выводы (1939, стр. 879): «...«благоприятные» пласты состоят из массивных светлоокрашенных, более или менее крупнозернистых известняков. Установлено, что под каждым экранирующим горизонтом вдоль главной трещины Миллклоз имеется пласт «благоприятного» известняка. Необычайное богатство рудой манто Миллклоз объясняется следующим сочетанием условий:

1) наличием небольшого сброса — главной трещины, пересекающей главную синклиналь Стантон под углом к второстепенным складкам;

2) наличием ряда относительно малопроницаемых слоев лав и туфов, каждый из которых образует среди известняков потенциальный экран;

3) наличием ряда очень пологих сводов, падающих довольно косо по отношению к главной трещине;

4) наличием (в каждом пункте разлома) на вышележащем горизонте законченного свода покрывающей породы (экрана), готового задержать минерализующие растворы;

5) наличием пласта „благоприятного" известняка непосредственно под каждым слоем лавы, туфа или покрывающих глинистых сланцев».

Общая структура округа Матлок и его перспективы

Общий вид геологической карты округа Матлок показывает, что поверхность между глинистыми сланцами и известняками, повидимому, с одной стороны вогнута и образует мульду Стантон, а с другой — выгнута кверху и образует антиклинальный участок к западу от Матлок. Взаимоотношения, существующие

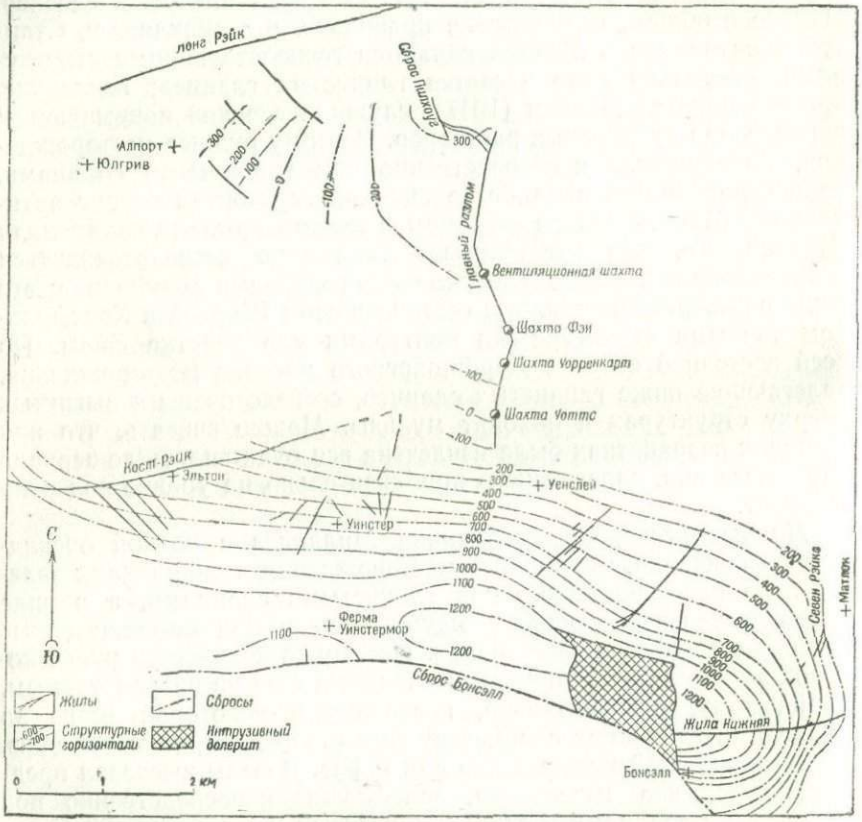
между глинистыми сланцами и известняками в других частях Дербишира, показывают, что едва ли эти мульды и своды можно рассматривать как непосредственный результат тектонического складкообразования. Они являются скорее результатом приспособления глинистых сланцев при первоначальном их отложении и уплотнении к ранее существовавшему выступающему массиву. Однако в общем, повидимому, правильно, что синклиналь Стантон и антиклиналь Матлок являются господствующими структурами, поскольку дело касается глинистых сланцев; последние, как это показал Дэнхем (1947), служили главной покрывающей породой для рудоносных растворов. Поэтому рудные месторождения, находящиеся непосредственно под глинистыми сланцами, концентрировались в наиболее высоких горизонтах вокруг антиклинали Матлок или на северном и южном крыльях синклинали Стантон. То, что руды имеют тенденцию сосредоточиваться в антиклиналях, всегда утверждалось горняками Дербишира; это было подтверждено также и составленными Ширлей и Хорсфильдом точными структурными контурами для участка Эйам. По всей восточной стороне Дербиширского массива месторождения, залегающие ниже глинистых сланцев, сосредоточены в выгнутых кверху структурах и обходят мульды. Можно считать, что при прежних разработках была извлечена вся руда вплоть до зеркала грунтовых вод, залегающего приблизительно на уровне вод реки Деруент.

Данные исследования рудника Милллклоз с полной очевидностью показали, что рудные месторождения в синклинали залегают не непосредственно под глинистыми сланцами, а в виде последовательных ступеней, идущих книзу под промежуточные слои лав и туфов в известняках. Потому-то количество руды, которое остается под глинистыми сланцами еще не разработанным, повидимому, незначительно, поскольку в некоторой точке за пределами глинистых сланцев рудные столбы погружаются вниз, под верхний слой местных лав или туфов. Дэнхем высказал предположение, что известняки, залегающие непосредственно под глинистыми сланцами в синклинали Абней и в синклинали Стантон западнее Уинслей, еще не достаточно изучены. Возможно, что это так и есть на самом деле, хотя надо сказать, что в прошлом горняки были весьма настойчивы в деле прослеживания прослойков руды. Но эту возможность не следует упускать из виду при дальнейших исследованиях.

Между нормально-слоистыми известняками D1 — D2 и глинистыми сланцами имеется ряд известняков, отличающихся чрезвычайно неравномерной мощностью. Они нередко принадлежат к типу «рифовых холмов», но в латеральном направлении могут переходить в темные известняки или перекрываться ими. Они относятся к гониатитовым зонам B2 и P и в Дербишире носят

название известняков Кэстльтон и Нанлоу близ Кэстльтона, а также известняков Эйам и Лонгстон дальше к югу.

Рифовые известняки чрезвычайно благоприятны для замещения; темные же известняки, вроде Блэк Бэдс Матлока, представляют собой не столь благоприятные пласты, за исключением



Фиг. 90. Структурные горизонтали приблизительно на горизонте Нижней лавы Матлок, т. е. на горизонте рифовых кораллов около 30 *м* над Верхней 129 лавой.

разве только тех мест, где других известняков вообще не имеется. Основной характерной чертой рифовых известняков является их неравномерная мощность и неравномерное распределение. Весьма типичен подземный холм, находящийся в руднике Миллклоз, между шахтами Фэн и вентиляционной, и содержащий очень много руды. «Рифовые холмы» распределяются вдоль обнаженной границы между известняками и глинистыми сланцами.

Поэтому представляется вполне вероятным, что за пределами старых выработок непосредственно под глинистыми сланцами еще могут находиться «выполненные» рудой холмы. Там, где они заключены в глинистые сланцы, положение их не может быть точно установлено, разве только путем тщательного картирования глинистых сланцев, когда наличие куполовидной структуры могло бы указывать на уплотнение над куполом, или же путем геофизических методов, применяемых для нанесения контуров границы стыка между известняками и глинистыми сланцами на небольших глубинах. Большие возможности в этом отношении таят в себе краевые зоны синклинали Стантон и особенно синклинали Абней на стороне Брэдуелл Дэль.

Рудные месторождения на более глубоких горизонтах контролируются структурами и относительно непостоянными современными им лавами и туфами. Трудность предсказания имеющихся здесь возможностей состоит в том, что структура нормальнослоистых известняков D1 и D2 не зависит от структур глинистых сланцев. Они были смяты в широтные складки до отложения «рифовых» известняков или глинистых сланцев, так что мы можем высказывать тут какие-либо предположения только на основании проектирования вниз (в глинистые сланцы) известных и закартированных на поверхности структур известняков, а также используя общие законы, лежащие в основе процесса отложения руд в Дербишире.

Выше нами были освещены особенности, свойственные манто Милллклоз. Они могут быть обобщены следующим образом: небольшой сброс, идущий под косым углом к общей линии падения и к направлению осей второстепенных форм складчатости, образует канал для восходящих минерализаторов, причем рудные тела представляют собой, как правило, седловидные залежи в очень пологих сводах, пересекаемых сбросом. Синклиналь Стантон, в которой находится рудник Милллклоз, может представлять другие возможности такого же характера; но поскольку рудовмещающие горизонты залегают под глинистыми сланцами, это предположение может рассматриваться как умозрительное. Одна из обнаженных жил — жила Севен Рэйкс (Seven Rakes) в Матлок, выходящая на поверхность в карьере Каудор, — находится в такой же геометрической связи с известняками, как и главная трещина Милллклоз. Она идет в том же общем направлении и следует по сбросу со смещением приблизительно на 2,5 *м* к востоку. В прошлом горняками предпринимались попытки проследить жилу в северо-восточном направлении; ими были пройдены шахты на восточной стороне долины Дервент, там где предполагалось продолжение жилы. Достоверных сведений о том, была ли найдена руда ниже глинистых сланцев, у нас не имеется, но во всяком случае много быть ее здесь не могло. Вполне воз-

можно, что руда опускается вниз под Верхнюю лаву еще до того места, где были пройдены последние шахты через глинистые сланцы. Если это так, то имеется вероятность наличия здесь ряда расположенных ступенями рудных тел, подобных тем, которые имеются в Миллклоз и которые пересекают устье синклинали Стантон.

Возможность наличия таких же явлений к западу от Миллклоз зависит от роли, которую играет жила Кост Рэйк как питающий канал. Эта жила, протягивающаяся в юго-западном направлении на южном склоне синклинали Стантон, обычно рассматривается как сброс; но в единственном месте — Грейтон Дэль — где этот факт может быть проверен, амплитуда смещения не может превышать нескольких дециметров, если только такое смещение здесь вообще имеется. Жила Кост Рэйк отличалась большим содержанием руды, так же как и ряд ее ответвлений в висячем боку, разрабатывавшихся как отдельные жилы вокруг Эльтона и Уинстера. Эти жилы были выработаны до лавы, являющейся почти наверное так называемой Нижней лавой; ни про одну из этих жил нельзя с уверенностью сказать, что она доходит до северной стороны Кост Рэйк. Но последняя в выработках Миллклоз не была обнаружена в том месте, где ее нахождение можно было ожидать. Поэтому не исключена та возможность, что жила Кост Рэйк и ее ответвления получали питание от проницаемого канала, подымающегося через слой лавы в пункте между известным концом выработок Кост Рэйк и Миллклозом, что открывает возможности поисков руды на горизонте, расположенном ниже лавы.

ДИСКУССИЯ

Г. Шнеллманн. Настоящий доклад хорошо иллюстрирует возможности, еще имеющиеся на старых рудных площадях, которыми мы склонны пренебрегать в погоне за новыми девственными площадями. В те времена, когда Британская империя занимала ведущее положение по добыче свинца, из общей годовой добычи руды в государстве в размере 10 000 *т* 80-процентных концентратов на долю Дербишира падало 10 000 *т*. Все это количество фактически добывалось из самого верхнего пласта известняка, который, без сомнения, был надлежащим образом изучен. Возможно, что здесь руда добывалась не менее чем в 25 главных жилах; жила Миллклоз является единственной из них, которая была должным образом изучена на более глубоких горизонтах. Она дала продукцию в 500 000 *т* 80-процентных свинцовых концентратов, причем почти половина этой добычи была получена из верхнего пласта, а половина — из нижних известняков, фактически в остальной части Дербишира не изучавшихся. Из сказанного может быть сделан тот вывод, что потенциальные возможности, которыми еще располагает Дербишир, равны по своим размерам уже выданной этим районом продукции. Имеющиеся статистические данные не достоверны и не полны, но на основании осторожного подсчета можно считать, что потенциальные запасы здесь составляют 2 000 000 *т* 80-процентных свинцовых концентратов (в денежном выражении это составляет 120 000 000 фунтов или 500 000 000 долларов, исходя из существующих рыночных цен).

ЛИТЕРАТУРА

Arnold-Bemrose H. H., The Toadstones of Derbyshire; their Field Relations and Petrography. *Quart. Jour. Geol. Soc.*, **63**, 241, 1907.
Dunham K. C., in Discussion on Schnellmann and Willson, 1947.
Prescott B., The Underlying Principles of the Limestone Replacement Deposits of the Mexican Province. *Eng. and Min. Jour.*, **122**, 246, 289, 1926.
Raistrick A., Mill Close Mine Derbyshire, 1720—1780. Proc. Univ. of Durham Phil. Soc. X, Part I, 1938.
Schnellmann G. A. and Willson J. D., Lead-Zinc Mineralization in North Derbyshire. *Bull. Inst. Min. Met.* No 485, 1947.
Shirley J. and Horsfield E. L., The structure and Ore Deposits of the Eyam District, Derbyshire, *Quart. Jour. Geol. Soc.*, **100**, 289, 1944.
Stuckey L. C., Lead Mining in Derbyshire with Special Reference to the Millclose. Mine. *Mining. Mag.*, **16**, 193, 1917.
Traill J. G., The Geology and Development of Millclose Mine, Derbyshire. *Econ. Geol.*, 34, 851, 1939.
— Notes on the Lower Carboniferous Linestones and Toadstones at Millclose Mine, Derbyshire. *Trans. Inst. Min. Met.*, **49**, 191, 1940.
Varvill W. W., A study of the Shapes and Distribution of the Lead Deposits in the Pennine Limestones in Relation to Economic Mining. *Trans. Inst. Min. Met.*, **46**, 463, 1937.
Wedd C. B. and Drabble G. C., The Fluorspar Deposits of Derbyshire *Trans. Inst. Min. Eng.*, **35**, 501, 1908.

ШВЕЦИЯ

Э. ГРИП[1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ШВЕЦИИ

Краткое содержание

Свинцово-цинковые руды встречаются в трех различных районах северной Швеции. Главным из них является проявление комплексных руд в Скеллефтском районе общей площадью оруденения приблизительно 95 000 *кв. м* и со средним содержанием в рудах 2,6% цинка и 0,3% свинца. Месторождения этого рудного поля, за одним исключением (Рютьебекен), принадлежат к самому древнему докембрийскому (Свекофенианскому) орогенезу и залегают в пограничной зоне между порфировой и филлитовой сериями. Рудные тела представляют собой сплошные массы пирита с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, пирротином в ассоциации с хлоритом, серицитом или с известковистыми силикатами, возникшими при изменении боковых пород.

На восточной окраине каледонского горного хребта, т. е. в районе, характеризующемся надвиговыми структурами, импрeньяции галенита и сфалерита встречаются в аутохтонном песчанике в Лайсвалле и в кварцитовом надвиговом покрове в Беллриксберге. В месторождениях встречаются барит и флюорит. Месторождения в Лайсвалле разрабатываются.

Во внутренних частях каледонид встречаются мелкие свинцово-цинковые месторождения, геологически сходные с крупными сульфидными рудными телами Норвегии.

Введение

Коренные породы северной Швеции получили их настоящий облик в результате трех периодов орогенеза: Свекофенианского и Карельского в течение архейской эры и Каледонского в течение палеозойской эры. Первый оставил свой след на докембрии северной Швеции, в то время как в самых северных ее частях, а также на юге оказали влияние горообразовательные процессы Карельского периода. Каледонская горная цепь занимает крайнюю западную часть страны, причем самые высокие пики в ней достигают 2000 *м* над уровнем моря. Поверхность денудации архейских пород с останцами гор полого отходит от горной цепи, вообще характеризующейся крутым падением, и постепенно опускается до Ботнического залива.

Бóльшая часть докембрийских пород покрыта ледниковыми отложениями и болотами, которые затрудняют геологическую съемку и поиски руды, в то время как горная цепь, как правило, хорошо обнажена, если не считать озерных районов и широких ледниковых долин.

---

[1] E. Grip; рудник Болиден

Сульфидные руды проявляются в коренных вулканических и осадочных породах. Руды, генетически связанные с наиболее древним орогенезом, концентрируются главным образом в широтной зоне, около 100 *км* длиной и 15 *км* шириной, образуя Скеллефтское рудное поле (широта 65°). Сульфидные руды, образовавшиеся в течение Карельского орогенеза, концентрируются в самой северной части Швеции. Они главным образом содержат медную руду, в то время как руды свинца и цинка количественно играют второстепенную роль. В каледонидах различаются две рудные провинции: 1) провинция с низкотемпературными свинцово-цинковыми рудами в песчаниках и кварцитах восточных предгорий и 2) провинция с более или менее сложными сульфидными рудами внутренней части горной цепи, ближе к норвежской границе. Комплексные руды последней провинции области часто содержат свинец и цинк, но также встречаются и кварцевые жилы (дайки) с серебросвинцовыми рудами.

Открытие сульфидных руд. Систематические поиски сульфидных руд начались в северной Швеции только после первой мировой войны. До этого времени здесь было известно лишь небольшое количество месторождений сульфидных руд, причем бóльшая часть месторождений была известна и разрабатывалась уже в XVII столетии.

Недостаток в металле после мировой войны стимулировал поиски руд в Швеции. Вначале привлекла внимание мало изученная северная часть страны, и особенно район Скеллефте, поскольку существовали некоторые старые указания о залежах руд в этом районе, хотя сами рудные месторождения известны не были. Мощность ледниковых отложений и небольшое количество обнажений заставили прибегнуть к геофизическим методам поисков. Большую пользу оказали методы электроразведки, разработанные шведскими горными инженерами. Поиски руд в широком масштабе были начаты почти одновременно Шведской геологической службой и частным предприятием, которое теперь получило название компании Boliden Mining. С 1918 г. обе эти группы продолжали поиски, которые становились все более и более широкими и, наконец, покрыли всю страну. В процессе поисков, сопровождавшихся геологическим картированием, геологические и геофизические методы получили дальнейшее развитие и усовершенствование.

Район Скеллефте

Коренные породы. В районе Скеллефте и в районе Арвидзьяур, расположенном к северу от него, проявляются следующие серии пород, стратиграфия, тектоника и рудные формации которых показаны на нижеследующей табл. 37.

Таблица 37

СТРАТИГРАФИЯ И ТЕКТОНИКА РАЙОНОВ СКЕЛЛЕФТЕ И АРВИДЗЬЯУР

Орогенез	Стратиграфия	Тектоника
Карельский	*Гранитная серия Сорселе* Сильно дифференцированные интрузии гранитов и габбро Обычны сиениты. Дайки гранит-порфиров и диабазов	
	Гранитная серия Арьеплог—Лина Мигматитовые граниты с пегматитовыми дайками	Складчатость и палингенезис. Образование сульфидных руд (месторождения Адак и Лавер)
	Серия Варгфорс Осадочные породы — от конгломератов до глинистых сланцев, переслаивающиеся с основными эффузивами	
	Несогласие	
	Гранитная серия Ревзунд Мигматитовые граниты с пегматитовыми дайками	Поздняя фаза складчатости, надвиги, палингенезис. Образование сульфидной руды (т. е. руд районов Болиден и Моланес)
	Гранитные серии Арвидзьяур и Йёрн Сильно дифференцированная серия, варьирующая от гранита до габбро Аплитовые и зеленокаменные дайки	Ранняя фаза складчатости. Главным образом пологая складчатость
Свионнанский или Свекофенианский	*Арвидзьяурские порфировые серии* Сильно дифференцированная вулканическая серия, заключающая андезиты, риолиты, кератофиры, дациты и в небольшом количестве пирокластические вулканические породы	Преобладание вулканизма в Арвидзьяурском районе, образование осадков в Скеллефтском районе

Продолжение

Орогенез	Стратиграфия	Тектоника
Свионианский или Свекофенианский	*Филлитовая серия района Скеллефте* Мощная осадочная серия главным образом тонкозернистых осадочных пород с рассеянным графитом Прослои основной лавы *Порфировая серия района Скеллефте* Сильно дифференцированная серия, включающая андезиты, кератофиры, дациты, риолиты с прослоями пирокластических вулканических пород и других осадков	Вулканическая деятельность в районе Скеллефте

В вопросе о возрастных соотношениях между гранитными сериями Сорселе и Арьеплог — Лина все еще существует некоторая неопределенность. Относительный порядок в табл. 37 для Арвидзьяурских порфиров и осадочных пород Скеллефтского района не вполне совпадает со стратиграфическим разрезом, так как отложение пород в южной части района Скеллефте было почти одновременным с вулканической деятельностью в Арвидзьяурском районе.[1]

Очень интересно с точки зрения образования руды, что обе фазы складчатости проявляются в восточной части района Скеллефте. Более ранняя фаза характеризуется более пологой складчатостью вдоль горизонтальных осей, в то время как для более молодой фазы типичны более интенсивное смятие пластов, часто вдоль сравнительно крутых осей складчатости, а также надвиги. В первой фазе проявляются древние граниты, вторая фаза оканчивается интрузией Ревзундских гранитов.

Осадочные и эффузивные (суперкрустальные) породы имеют чрезвычайно разнообразный метаморфический облик. Метаморфическая зональность находится в полном согласии с залеганием Ревзундских гранитов и мигматитов. Здесь представлены все переходные стадии — от структурно прекрасно сохранившихся вулканических пород и осадков до настоящих гнейсов.

[1] Обзорную карту района и полный список литературы см. Geologiska Föreningens Förhandlingar, Stockholm, 1946, Skelefte- och Arvidsjaurfälten; **Gavelin, Grip.**

Цинк- и свинецсодержащие руды. Характерной особенностью района Скеллефте является его богатство сульфидными рудами, в то время как железные руды здесь очень редки. Противоположная картина наблюдается в самых северных рудоносных районах Швеции, а также в ее центральной части. Среди сульфидных руд мы различаем несколько типов, проявляющихся в различной геологической обстановке. Однако промышленный интерес представляют только колчеданные, явно эпигенетические руды, ассоциированные с измененными породами.

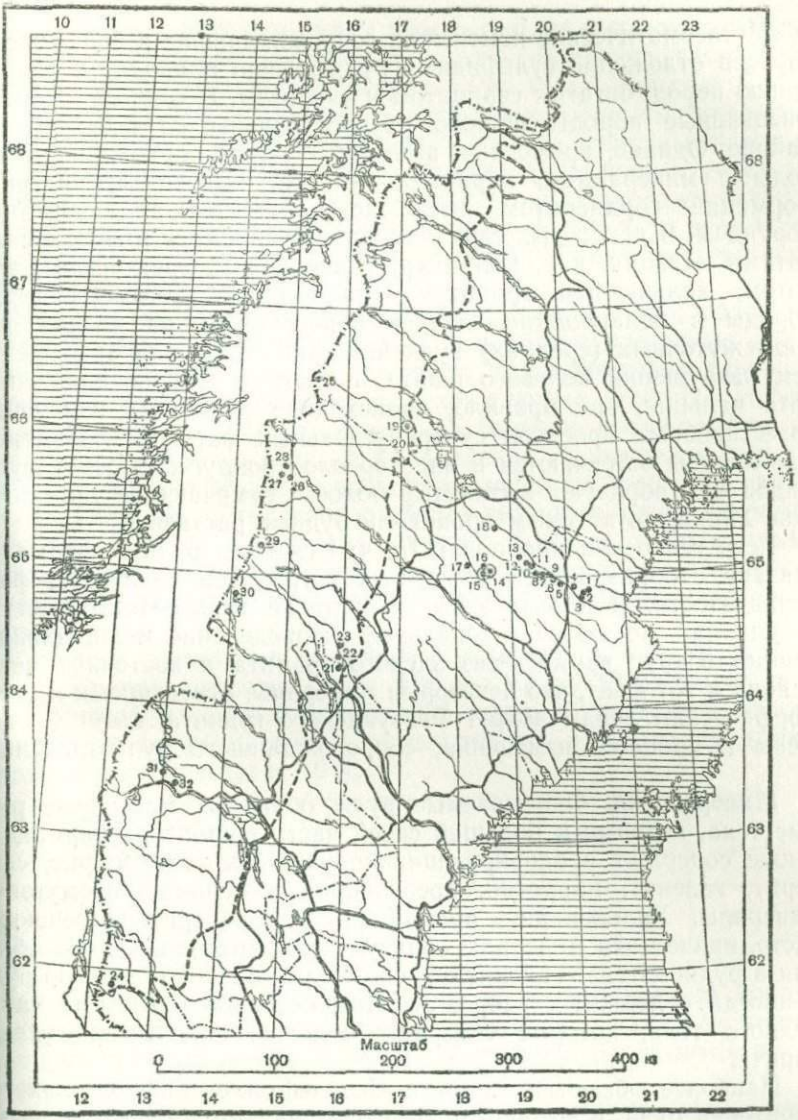
Цинк- и свинецсодержащие руды в районе Скеллефте, возможно только за одним исключением (Рютьебекен), относятся к древнейшему, т. е. Свекофенианскому, орогенезу. Они проявляются в зоне 15 *км* шириной и 100 *км* длиной, протягивающейся от рудных проявлений группы Кристинеберг на западе до Болидена на востоке (фиг. 91). Стратиграфически они залегают в пограничной зоне между порфировой и филитовой сериями, там где их положение тектонически обусловлено различием в компетентности жестких вулканических пород и более податливых осадочных пород.

Большое количество рудных проявлений контролируется структурами, возникшими в более позднюю фазу орогенеза, и, помимо прочих признаков, эти рудоносные структуры характеризуются более интенсивной складчатостью. Широтные оси рудных тел в таких случаях ориентируются вдоль более или менее круто наклоненных осей складок или линейных направлений данной фазы складчатости (например, Болиден, Лонгзеле, Ренстрём, некоторые из рудных тел Малонезет, Раккеяур).

В западной части Скеллефтского района оси рудных тел ориентированы вдоль широтных пологих структур, образование которых относится к начальной фазе орогенеза; окончательное оформление этих структур (как это имеет место в Кристинеберге) имело место во вторую фазу орогенеза.

Все рудные тела залегают в более или менее отчетливо выраженных сколовых зонах, преимущественно параллельных сланцеватости и обычно параллельных простиранию пластов. Полости, по которым проникли рудные растворы, образовались различными путями: например, в процессе формирования крутых складок волочения и рубцовых жил в Болидене с тремя фазами рудоотложения; в процессе проявления тектонического нарушения, секущего простирание пластов в Лонгзеле; в процессе имевших место тектонических перемещений и вдоль изогнутой поверхности в районе Кристинеберга с двумя фазами рудоотложения при различных направлениях движений.

В некоторых месторождениях в процессе рудообразования по трещинам интрудировали также основные породы.



Фиг. 91. Карта местоположения свинцовых и цинковых месторождений в северной Швеции.

Жирным пунктиром показана восточная граница каледонид. Точки изображают свинцово-цинковые месторождения; точки в кружках — рудники:
1) Болиден, Cu-As-Au-рудник; 2) Лонгзеле; 3) Лонгдаль; 4) Ренстрём; 5) Кедтреск; 6) Бьюртреск; 7) Бьюрлиден; 8) Бьюрфорс М; 9) Норрлиден; 10) В.Хёгкулла; 11—12) Менстреск; 13) Раккевур; 14) Кристинеберг; 15) Ревлиден; 16) Ревлидмиран; 17) Виндельгранзеле; 18) Рюдтьебекен; 19) Лайсвалл; 20) Аккерселет; 21) Беллвиксберг; 22) Левстранд; 23) Ормзье; 24) Фогеллексбреннан, Идре; 25) Назафьелл; 26) Тьотер; 27) Сторбексдален; 28) Рикарбекен; 29) Ремдален; 30) Иормльен; 31) Бьелкес; 32) Фрео.

Метасоматические изменения, сопровождавшие в большинстве случаев отложение сульфидных руд, обычно приводят к образованию пород, богатых серицитом и хлоритом. Подобные метаморфизованные породы широко распространены во всем рудном районе. Однако, кроме них, возникают также околожильные породы с минералами, характерными для высокотемпературных формаций: кордиеритом, амфиболом, гранатом, андалузитом и корундом. В некоторых случаях руды проявляются вместе с силикатами кальция, как, например, с диопсидом, тремолитом, эпидотом, кальциевым гранатом. Кварцитовые метаморфические породы в большинстве случаев образовались из кислых или промежуточных (средних) вулканических пород или аркозов путем разрушения полевого шпата и биотита. Образование силиката кальция, как правило, происходило благодаря изменению известняковых прослоев суперкрустальных формаций. Измененные породы встречаются в виде ореолов вокруг скоплений сульфидов или образуют вытянутые полосы, отмечающие тектонические линии, по которым проникали рудные растворы.

Есть все основания полагать, что главная рудная формация связана с образованием Ревзундских гранитов во вторую фазу складчатости. В пользу этого говорит не только тектоническая ассоциация, но также и зональное распределение меди, цинка и свинца вокруг языка Ревзундского гранита в восточной части района и тот факт, что некоторые минералы, относящиеся к метаморфическим зонам вокруг Ревзундского гранита, были уничтожены в процессе изменения, сопровождавшего рудоотложение.

Минералогия. Описываемые руды образуют массивные рудные тела, которые в большей своей части состоят из пирита, но также содержат в варьирующих количествах халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит и сурьмяно-висмутовые минералы. Халькопирит, арсенопирит и сфалерит встречаются часто, причем эти минералы образуют самостоятельные обособления в рудном теле. Галенит обычно сопровождает цинковую руду и иногда содержит серебро. Золотом особенно богаты те части рудного тела, которые содержат большие количества арсенопирита.

Наиболее обычным типом в Скеллефтском районе является пиритовая руда, в которой медь и цинк являются существенными побочными продуктами. Примерами цинковых руд являются руды главной части месторождения Раккеяур, бóльшая часть руд Менстреск, Эльвабергет, Бьюрлиден, средние части рудного тела Бьюрфорс, Канкберг, Лонгзеле; в то время как месторождения Рюдтьебекен и крупнейшее рудное тело Озен содержат и медные и цинковые руды, руды месторождений Окулла и Озен меденосные.

К пиритово-цинковым рудам можно отнести руды месторождения Виндельгранзеле, главную часть руды Ревлиден, часть руды Кристинеберга, Восточного Хёгкулла, Ренстрём, Лонгдаль.

С точки зрения структуры мы встречаем среди сплошных руд руды массивного сложения и более или менее отчетливо полосчатые с различным минеральным составом в различных участках. Величина зерен варьирует от 1 *см* до 0,01 *мм*. Наиболее обычный размер зерен в пиритовых рудах — около 1 *мм*, в то время как мышьяковые руды иногда характеризуются субмикроскопическими размерами зерен.

Как уже отмечалось, сплошные пиритовые массы образуют линзообразные или плитообразные тела, более или менее удлиненные по простиранию, и особенно в направлении линейной структуры или оси складчатости окружающих коренных пород. Во многих местах руда разделена на большое число параллельных кулисообразных линз. В направлении простирания пиритовые тела часто переходят в зоны вкрапленности, тогда как вкрест простирания они обнаруживают более резкие границы с боковой породой. Однако во многих случаях боковая порода также импрельирована сульфидами и сплошные и массивные руды окружены оболочкой метаморфических пород с вкрапленностью сульфидов.

Средний состав руд в районе Скеллефте, в зоне Кристинеберг — Болиден, показан ниже для руд около 30 наиболее важных залежей массивной сульфидной руды. В некоторых из них содержание цинка и свинца незначительно, в других же содержание цинка превышает 10%.

Общая площадь горизонтальной поверхности, *кв. м*	S, %	Zn, %	Pb, %	Cu, %	As, %	Ag, *г/т*	Au, *г/т*
95 430	29,5	2,6	0,3	0,8	1,5	43	3

В этот подсчет не включены руды месторождений группы Адак, принадлежащих, вероятно, к карелидам, а также несколько крупных тел вкрапленной руды, состоящих исключительно из сульфидов железа.

Глубина залегания руды достоверно неизвестна; можно, впрочем, указать, что в Кристинеберге руда встречена на горизонте 490 *м*, в Раккеяуре — на горизонте 320 *м* и в Ренстрёме — на горизонте 400 *м*.

Среди месторождений, наиболее богатых цинком и свинцом, нужно отметить руды Ренстрёма и Лонгдаль, а также небольшие, но богатые залежи руды в Виндельгранзеле и Восточного Хёгкулла; последние более чем с 20-процентным содержанием цинка.

Содержание железа в сфалерите очень различно. В Кристинеберге сфалерит светлого цвета и содержит только около 6% железа, в то время как в Ревлидене, в 5 *км* на запад, он темный и содержит около 11% железа. В остальных месторождениях наблюдаются все промежуточные содержания.

Характерной особенностью руд является содержание в них второстепенных составных частей. Так, например, цинковые руды содержат 0,00005—0,0080% ртути. Сфалерит восьми цинковых месторождений показал следующие содержания кадмия, галлия и индия: Cd — 0,07—0,25%; Ga — 0,001—0,008% и In — 0,001—0,08%. С галенитом связано присутствие серебра, причем отношение серебра к свинцу примерно равно 1 : 100.

Добыча цинковых руд в районе Скеллефте в настоящее время производится в рудниках Кристинеберг и Ревлиден. Продукция этих рудников выражается следующими цифрами:

Рудник	Год	Добыча руды, *т*	Цинковый концентрат, *т*	Процентное содержание в концентрате:	
				Zn	Fe
Кристинеберг	1945	324 101	7 023	56,3	6,3
	1946	383 165	8 112	53,3	7,7
	1947	414 937	13 023	54,5	6,7
Ревлиден . . .	1945	50 926	1 786	49,5	12,7
	1946	53 208	2 325	45,7	14,5
	1947	46 754	1 741	49,6	11,1

Месторождения в каледонидах

Структура. Особой характерной чертой каледонид на территории Швеции прежде всего является развитие серии покровов, надвинутых один на другой в направлении запад-северо-запад. На восточной границе гор под надвинутыми покровами сохранилась аутохтонная осадочная серия докембрийского и кембрийского, а иногда и ордовичского возраста.

Аутохтонные или близкие к ним осадки также обнаруживаются в эрозионных окнах на большом расстоянии далее в глубь горной цепи, а подстилающие их архейские породы выходят на поверхность в ряде окон вблизи норвежской границы и на восток от нее. Они представляют собой пологий антиклинальный гребень, в котором и архейские породы и покрывающие их осадочные серии, в большей или меньшей степени, были сдвинуты в направлении на восток-юго-восток в виде пологих клинообразных покровов. Такое клинообразное тектоническое сложение

играет большую роль в структуре архейских пород к востоку от хребта и имеет особенно большое значение в отделении надвиговых покровов от их аутохтонных корней и вообще способствует образованию таких покровов.

Профиль от шведско-норвежской границы до начала восточных предгорий показывает очень пологую структуру, и подстилающие архейские породы находятся на очень небольшой глубине. Осадков геосинклинальной зоны здесь нет — они находятся дальше к западу.

Надвинутые покровы сложены главным образом осадочными породами, но некоторые из них содержат мощные амфиболитовые горизонты частично вулканического происхождения. Основания некоторых из этих покровов содержат перенесенные части первичных архейских пород.

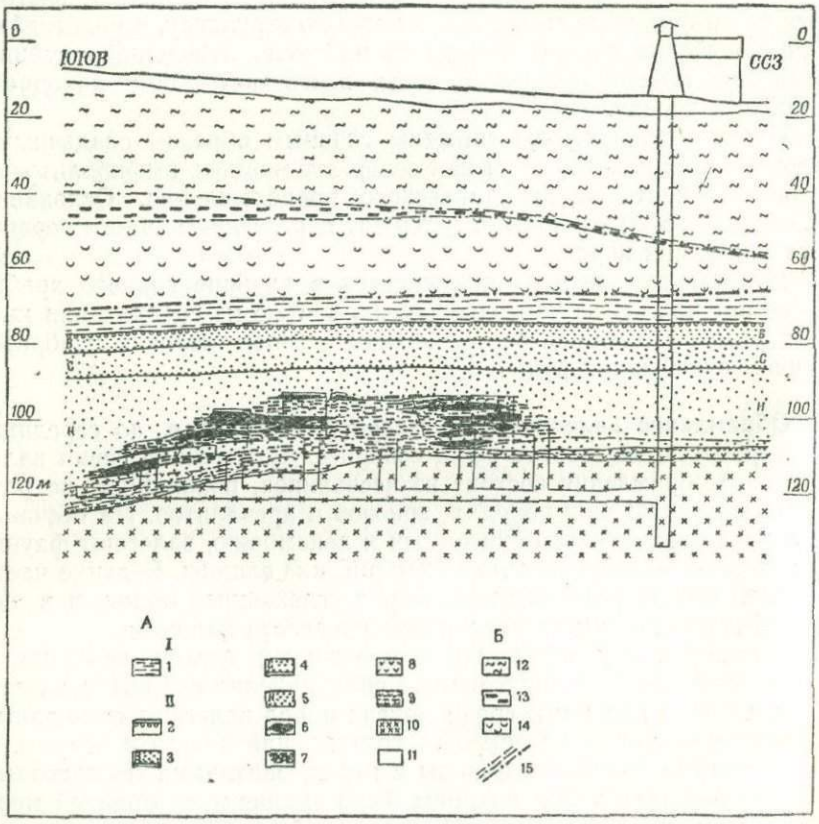
Интрузивные породы встречаются в глубине горного хребта и состоят частью из ультраосновных, частью из средних или кислых пород. Последние часто связаны с мигматизацией и образованием сульфидной руды.

Обрамление каледонид. В северной части, т. е. до середины Вестерботтен, на широте 65° и севернее, аутохтонная серия каледонского обрамления состоит из песчаников, покоящихся на разрушенных архейских породах, аркозов и аргиллитов. На песчаниках, предположительно относимых к докембрию, залегают фаунистически охарактеризованные кембрийские сланцы. Верхние части сланцев имеют углистый характер и сглаженный облик, и в них мы обычно находим самые нижние плоскости надвигов.

Дальше к югу песчаники в предгорной полосе исчезают, и здесь встречаются только кембро-силлурийские сланцы и известняки. Однако над ними среди других пород залегают смещенные надвигом кварцитовые покровы, содержащие иногда в основании перенесенные архейские породы с перекрывающими их аркозами и конгломератами. Эти покровы были смещены по крайней мере на 35 *км* с запад-северо-запада, где они были оторваны от аутохтонных докембрийских пород. В самой южной части предгорий, в Далекарлии, опять появляются песчаники, которые здесь, повидимому, относятся и к докембрийскому и кембрийскому возрасту.

Свинцово-цинковые руды. В покровах песчаников и кварцитов на границе гор имеется несколько месторождений свинцовых и цинковых руд, положение которых показано на фиг. 91. Все они относятся к вкрапленному типу, причем среди рудных минералов преобладают галенит и сфалерит. Примерами могут служить два наиболее крупных месторождения — Лайсвалл в осадочном песчанике и Беллвиксберг в кварците, которые будут описаны ниже.

Лайсваллское рудное тело (широта 66°10′) образует импрегнированную зону вокруг озера Сторлайсан и под озером, на дне которого оно частично обнажается. Рудное тело простирается в северо-восточном направлении, т. е. почти под прямым углом к покровам



Фиг. 92. Вертикальный разрез через свинцовое месторождение Лайсвалл, северная Швеция.

А. Автохтонные. *I. Кембрийские отложения. 1*—глинистые сланцы. *II. Эокембрийские отложения. 2*—конгломерат; *3*—верхний песчаник с конгломератом; *4*—средний песчаник с конгломератом; *5*—нижний песчаник с конгломератом; *6*—свинцовая руда с>15% Pb; *7*—свинцовая руда с 6—15% Pb; *8*—аркозы; *9*—аркозы с аргиллитом; *10*—архейские граниты; *11*—наносы. **Б. Надвинутые покровы.** *12*—комплекс Ираф; *13*—комплекс хлоритовых сланцев; *14*—комплекс Каскавуре; *15*—плоскости надвига.

надвига. Фиг. 92 представляет разрез через северо-восточную часть месторождения, оказавшуюся наиболее богатой, где уже начались добычные работы. На слегка волнистой, сильно выветрелой поверхности архейского гранита типа Сорселе залегают базальные брекчии и аркозы, перекрываемые пластами конгло-

мерата и аркозового аргиллита. Затем следует микроклиново-кварцевый равномернозернистый «нижний песчаник» с размерами зерен около 1,3 *мм*. Песчаник этот слоистый, и содержание глины в нем различное: в слоях с большим содержанием глинистых минералов последние образуют цемент между зернами кварца, тогда как существенно кварцевые горизонты в большей или меньшей степени кварцитизированы. Затем после маломощного прослоя конгломерата следует «серый песчаник», сходный с нижним, но обычно темноокрашенный. Выше него залегает «верхний песчаник» с подстилающим конгломератом; этот песчаник серого цвета, косослоистый и недостаточно сортированный. Выше он содержит мелкую гальку сланцев, и этот трансгрессионный конгломерат считается переходной зоной к породам нижнего докембрия. На глинистом конгломерате залегают серые сланцы, которые выше переслаиваются с известняком, содержащим органические остатки (верхи нижнего кембрия) и еще выше — битуминозные сланцы (среднекембрийского возраста). В битуминозных сланцах мы находим плоскость надвига вышележащих покровов, сложенных главным образом кварцитовыми породами и еще выше — гранатово-слюдистыми сланцами.

Серия песчаников и подстилающих их пород испытала действие тектонического надвига лишь в слабой степени, но зато подверглась второстепенным надвигам и сбросам, оказавшимся чрезвычайно важными для рудообразования. Вся серия в целом падает на северо-запад под углом 3°.

Руда присутствует в «нижнем» и «верхнем» песчанике, в которых наиболее богатые скопления ее связаны с тектоническими структурами, образованными в процессе движения по надвигу. С удалением от зон дробления, причленяющихся к поверхности надвига под острым углом, в менее нарушенных песчаниках, вкрапленность исчезает.

В месторождении Лайсвалл преобладающим рудным минералом является галенит, в то время как сфалерит (очень светлого цвета и с малым содержанием железа) присутствует в заметных количествах только в некоторых периферических частях месторождения. Содержание серебра в руде бедное. Пирит присутствует в форме мелких пойкилобластов, более ранних, чем собственно рудная формация. Галенит и сфалерит замещают кварц и микроклин в песчанике и в очень малой степени — глинистые минералы. В течение подвижек хрупкие кварцитизированные песчаники, повидимому, подверглись раздроблению и разрыхлению, в то время как глинистые песчаники приспособились к стрессу и не оставили никаких пространств для миграции растворов.

Рудные минералы сопровождаются кальцитом, баритом и флюоритом; эти минералы образуют пойкилобласты в песчанике и вместе с сульфидами заполняют трещины.

По мере удаления от зон тектонических нарушений, к которым неизменно приурочиваются рудные скопления, богатая руда постепенно уступает место все более бедной рудной вкрапленности, распространяющейся преимущественно по напластованию.

Происхождение руды еще не вполне ясно. Рудные растворы могли циркулировать по системе трещин и плоскостям надвига, слегка наклоненным в сторону центра горного хребта и находящимся в архейских породах ниже осадочных комплексов. Расстояние до ближайших известных каледонских интрузивов — около 60 *км*, и поэтому трудно установить связь между ними и рудообразованием. Можно также предположить заимствование рудных компонентов из окружающих осадков, в период перемещения по надвигу. Так как исследование рудной площади только что начато, то, повидимому, в ближайшем будущем будет возможно дать более удовлетворительное объяснение генезису руды.

Лайсвалл, единственное эксплоатируемое сейчас месторождение в предгорьях Каледонских гор, разрабатывается с 1943 г. Цифры добычи за последние три года следующие:

Год	Руда, *т*	Концентрат, *т*	Процент свинца в концентрате
1945	88 482	11 369	80,6
1946	98 364	9 543	80,7
1947	144 548	10 819	80,8

Свинцовая руда в Беллвиксберге (широта 64°20′) залегает в кварцитовом покрове, надвинутом на сланцы. Кварцит дислоцирован интенсивнее, чем песчаник в Лайсвалле, и ярче выражена приуроченность руды к брекчированным участкам. С удалением от богатых участков рудная вкрапленность в брекчии очень скоро истощается.

Остальные месторождения этого предгорного района очень похожи на только что описанные, хотя их размеры весьма различны. О запасах руды сейчас еще пока сказать ничего нельзя.

Свинцово-цинковые руды внутренней части каледонид. Сульфидные руды внутренней части гор обычно имеют массивное строение, причем преобладающим минералом в рудах обычно является пирит. Кроме того, в различных количествах встречаются сфалерит, а также галенит, халькопирит, пирротин и т. д.

Руда встречается в покровах, надвинутых издалека и состоящих из метаморфических филлитов, известковых и кварцитовых пород (породы Кёли) и сильно метаморфизованных слюдистых сланцев, гнейсов и амфиболитов (породы Севе). Руда прояв-

ляется в той же геологической обстановке, что и крупные залежи сульфидных руд в Норвегии — Сулитьельма и Гронг, залегающие в той же самой зоне. Однако шведские месторождения принадлежат к более ярко выраженному свинцово-цинковому типу, чем норвежские, в которых преобладают пирит и халькопирит, и в то же время по размерам они гораздо меньше. Руды в слабо метаморфизованных покровах, как правило, мелкозернисты, тогда как в сильно метаморфизованных покровах руды грубозернисты. Рудные тела, как правило, приурочены к складчатым структурам покровов и склоняются вдоль осей пологих складок.

Среди свинцово-цинковых рудопроявлений можно указать на группу месторождений комплексных руд. К ней относятся мелкие месторождения Иофиеллет (широта 65°48′), а также, повидимому, более значительные месторождения в Ремдален (широта 65°10′) и Иормльен (широта 64°25′) и два рудных тела в надвиговом покрове, Севе и Орескутан (широта 63°25′). Последнее месторождение разрабатывалось на медь уже в XVIII в., но цинковая руда никогда там не добывалась.

Кварцевые дайки с галенитом, содержащие серебро, встречаются во многих местах северной части горной цепи, и руда из них добывалась в различных участках в прежние времена. Лучше других известно месторождение Назафьелл, разрабатывавшееся еще с XVII в. Кроме галенита, в его руде содержатся также сфалерит, халькопирит и буланжерит. В руде этого месторождения отношение серебра к свинцу приблизительно равно 2 : 1000. Все эти дайковые месторождения невелики.

В настоящее время никаких добычных работ в пределах внутренней зоны гор не ведется.

ДИСКУССИЯ

Т. Вестервельд просит разъяснить, на чем основывается взгляд, согласно которому бо́льшая часть руд месторождения Скеллефте связана с гранитами Иёрн, а не с гранитами Ревзунд, как это также утверждалось в шведской литературе.

Далее Вестервельд просит привести аргументы в защиту положения о первично-метеорном[1] происхождении каледонских галенитовых, флюоритовых и баритовых руд краевой зоны Лапландии. Во многих гидротермальных свинцовых округах мира (восточные штаты США, северная Англия) наблюдается аналогичное геохимическое сочетание.

Э. Грип в своих ответах на вопросы указывает, что некоторые особенности на карте округа Скеллефте указывают на существование связи между гранитом Ревзунд и рудообразованием, в частности — зональность сульфидного минералообразования вокруг языков гранита.

Происхождение свинцовой руды в Лайсвалле пока еще точно не установлено, как это и отмечено в докладе; но в резюме этот момент, к сожалению, достаточно ясно не отражен.

[1] Супергенном. (*Прим. ред.*)

Н. МАГНУССОН[1]

СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ШВЕЦИИ

Краткое содержание

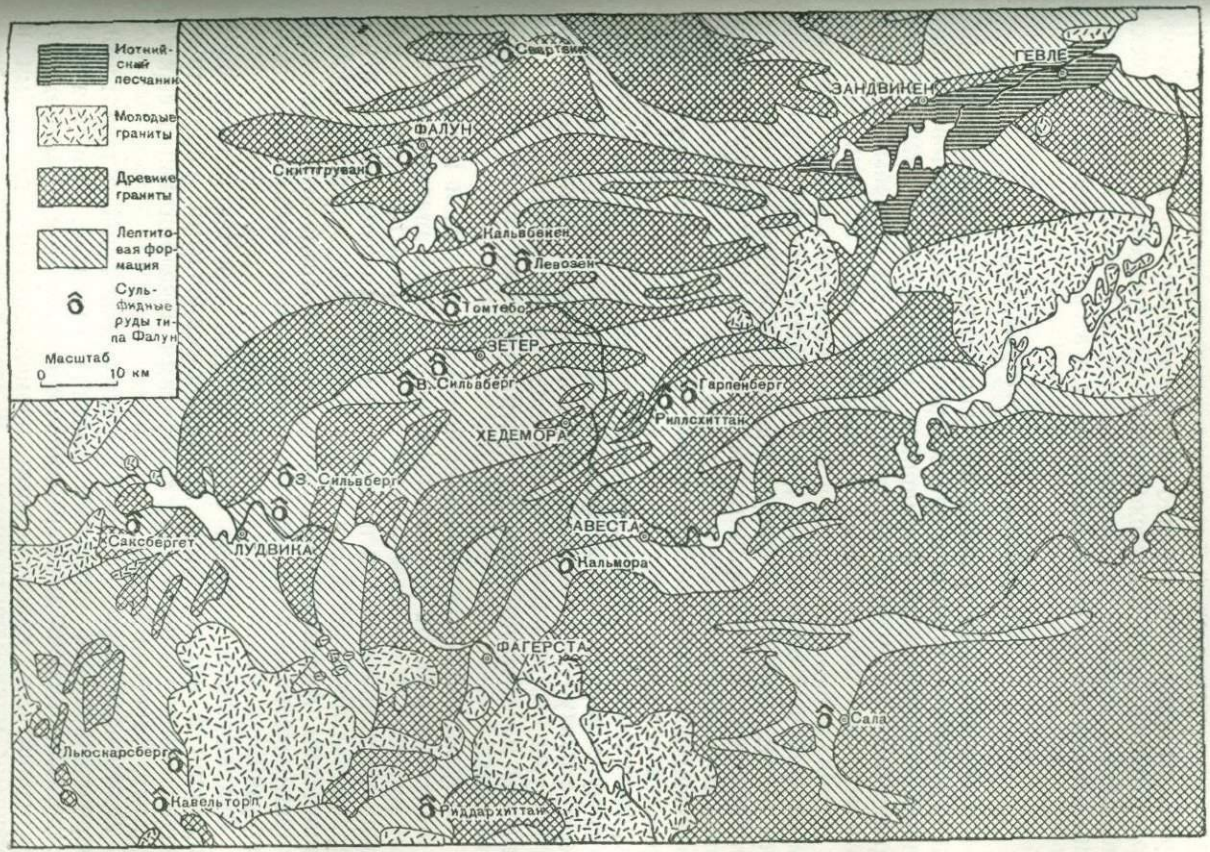
В центральной Швеции свинцово-цинковые месторождения принадлежат к двум типам: 1) Фалунский тип, включая руды месторождений Фалун, Гарпенберг, Саксбергет, Кальвбекен, Лёвозен, Льюснарсберг и Столльберг; 2) Оммебергский тип. Месторождения первого типа возникли в связи с магнезиальным метасоматозом докембрийских «первозданных» гранитов, которые интрудировали складчатую лептитовую формацию (метаморфизованные вулканические и осадочные породы). Рудные тела залегают главным образом в скарново-доломитовых зонах или в кварците; они содержат пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит и магнетит. В некоторых случаях они окружены «sköls», т. е. породами, состоящими из биотита, хлорита, талька, амфиболов, альмандина или кордиерита. Оммебергский тип месторождений, повидимому, связан с палингенетическими процессами, которые привели к образованию жилковатого гнейса Сёрмланда и гранитов Стокгольм-Фелингсбро — более молодых, чем «первозданные» граниты. Руды обычно ассоциированы со скарновыми минералами вблизи фронта мигматизации. Пирротин встречен в скарновой зоне. В распределении руд часто наблюдается зональность, причем сфалерит располагается ближе к фронту мигматизации, чем галенит.

Введение

Большинство цинковых и свинцовых месторождений центральной Швеции было известно уже с начала XVI столетия. Некоторые из них разрабатывались на серебро, как, например, Сала, Кальвбекен, Лёвозен, западный Сильвберг, восточный Сильвберг, Свартвик и Риллсхиттан. Другие месторождения разрабатывались преимущественно на медь — Фалун, Гарпенберг. Позже были открыты месторождения Льюснарсберг (начало XVII в.), Кальмора (XVIII в.), Кавельторп и Саксбергет (XIX в.). Оммебергское месторождение, вероятно, было известно еще раньше — не позже XVI в., но горные работы в большом масштабе начались на нем только в 60-х годах прошлого столетия.

Цинковые и свинцовые месторождения центральной Швеции принадлежат к двум типам: типу Фалун и типу Оммеберг. Месторождения первого типа возникли в связи с метасоматическими изменениями, называемыми «магнезиальным метасоматозом», и тесно связаны с интрузией древнейших гранитов центральной Швеции, или «первозданных» гранитов («urgranites»), как их называют шведские геологи. Месторождения Оммебергского типа, повидимому, связаны с процессом палингенезиса, в результате

[1] N. H. Magnusson, профессор геологии Высшей технической школы в Стокгольме.



Фиг. 93. Распределение сульфидных рудных тел типа Фалун.

которого образовались жильные гнейсы Сёрмландского района, а также граниты Стокгольмского типа и типа Феллингсбро. Эти процессы проявились гораздо позднее интрузий древних гранитов, содержащих руды Фалунского типа. Их разделял орогенически спокойный период, характеризовавшийся большим количеством диабазовых даек, теперь измененных в амфиболитовые.

Фалунский тип месторождений

«Первозданные» граниты интрудировали древнейшую формацию, известную в связи с преобладанием в ней лептитов под названием «лептитовой формации». Эти породы вулканического происхождения состоят главным образом из пепловых туфов и агломератов, переслоенных с подчиненными лавами. Породы с преобладанием лав и туфов имеют кварц-порфировый и кварц-кератофировый состав. Там, где эти породы хорошо сохранились, они имеют плотную основную массу и известны под названием геллефлинты. В геллефлинтах мы часто можем обнаружить хорошо сохранившиеся структуры основной массы, как, например, гранофировые, микропойкилитовые и сферолитовые структуры в лавах и пепловые структуры в туфах. Лептиты являются метаморфизованными геллефлинтами, в которых первоначальная структура нарушена и основная масса приобрела гранобластическую структуру, в то время как порфировые и агломератовые структуры часто, в той или иной степени, сохранились. Там, где лептиты метаморфизованы до лептито-гнейсов, структуры также изменены.

С вулканическими породами перемежаются слои известняков и железных руд. За исключением интрузивных апатитово-железных руд, почти все железные руды центральной Швеции, как полосчатые кварцевые, так и скарновые руды в известняках, были первоначально осадочными, тесно связанными с вулканическими процессами. Апатитово-железные руды непосредственно связаны с вулканическими процессами и проявлениями субвулканических интрузий.

Вулканические породы образуют нижнюю часть лептитовой формации и покрываются нормально-осадочными породами — граувакками, сланцами, конгломератами и кварцитами в сериях Грититт, Ларсбо и Мелар.

Лептитовая формация подверглась интенсивной складчатости, сопровождавшейся интрузией древних гранитов. Эти граниты представляют собой дифференцированную серию с серыми олигоклаз-гранитами, красно-серыми промежуточными гранитами и красными микроклин-гранитами. В северо-восточной части центральной Швеции древние граниты являются доминирующей породой и лептитовая формация с ее известняками и железными

рудами встречается среди гранитов только в виде остатков кровли. В железных рудах и известняках, обнаруживаемых среди таких остатков, часто имеет место вкрапленность пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита и галенита, а известняки в значительной мере изменены в скарны (известково-силикатные породы). Остатки лептитовой формации обычно сохраняют свое первоначальное положение, откуда можно сделать вывод, что граниты проникли в виде растворов [1] и, чтобы освободить себе место, ассимилировали бóльшую часть лептитовой формации.

В направлении на запад граниты образуют языки или более мелкие изолированные массивы, в которых состав гранита чище, а сам гранит имеет более ярко выраженный интрузивный характер и обладает резко очерченными контактами. В этой части центральной Швеции сосредоточены свинцово-цинковые месторождения Фалунского типа.

Растворы, поступающие из кристаллизующихся гранитов, изменили, на бóльших или меньших участках, вулканические породы в слюдяные сланцы и рудные кварциты, богатые такими минералами, как кордиерит, альмандин, андалузит, жедрит, антофиллит и куммингтонит. Вероятно, растворы были богаты SiO_2 и MgO и тем самым привели к «магнезиальному метасоматозу», впервые описанному П. Эскола из Ориярви в Финляндии и П. Гейером в месторождении Фалун. В составе растворов привносились, кроме того, железо, медь, цинк, свинец, которые отлагались в виде сульфидов: пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита и галенита. Растворы также принесли небольшие количества серебра и золота. Серебро вошло главным образом в состав галенита, а золото кристаллизовалось в виде самородного золота.

Сульфиды отлагались в таких местах, где тектонические и другие условия были подходящими, особенно в известняках и в силикатных породах, граничащих с известняками. В некоторых месторождениях, например в Сала и Кавельторп, сульфиды встречаются только в известняках, в других местах они проявляются также в рудных кварцитах и слюдяных сланцах в трещинах или вдоль линий тектонических нарушений. Известняки, в которых присутствуют сульфиды, изменены более или менее нацело в доломит, а доломит изменен в большей или меньшей степени в офикальцит и скарн, состоящий из таких минералов, как тремолит, актинолит, диопсид, антофиллит, куммингтонит, гумитовые минералы, форстерит, серпентин и тальк. Обыкновенно сфалерит и галенит проявляются в скарне и доломите. Только в месторождении Гарпенберг весь комплекс этих минералов найден и в

[1] В данном случае автор, являясь сторонником гранитизации, очевидно, имеет в виду проникновение растворов, которые позднее дали граниты. (*Прим. ред.*)

кварцитах и в слюдистых сланцах, а в Саксбергете самая богатая руда заполняет прямолинейную трещину, ограничивающую на севере смятое в складки доломитово-скарновое тело. В месторождении Фалун минералы свинца и цинка заключаются как в известняках, так и в рудных кварцитах.

Граница между скарново-доломитовыми рудными телами и окружающими рудными кварцитами часто отмечается породами, по-шведски называемыми «скёль» («skӧls»), состоящими из биотита, хлорида и талька в варьирующих пропорциях, вместе с амфиболами — антофиллитом, жедритом, куммингтонитом и роговой обманкой, а также с альмандином и кордиеритом. Помимо этих пограничных пунктов, подобные же породы встречаются по трещинам и в окружающих кварцитах. Там, где в рудных кварцитах и слюдяных сланцах присутствуют гнезда сульфидов, как, например, в Гарпенберге, там рудные тела часто залегают в таких скёлях и вся рудоносная площадь заполнена узкими зонами таких пород, ветвящихся или образующих сетку. Нередко отдельные рудные тела соединены такими породами. Эти зоны измененных пород служили проводящими каналами для рудных растворов.

Вдоль тектонических линий, где могло концентрироваться большое количество материала, залегают массивные и более богатые руды; примером является руда, заполняющая трещину в Саксбергете. В таких рудах содержатся в большом количестве окатанные обломки окружающих пород, что свидетельствует о значительных подвижках в процессе отложения руд. Эти массивные «рудные шары» также очень мелкозернисты и сильно нарушены. Подобного типа руды встречаются также в других месторождениях, особенно в месторождении Гарпенберг. Структуры, напоминающие эти руды, часто обнаруживаются в других рудных залежах, особенно в высокопроцентных массивных рудах. Все эти наблюдения ясно показывают, что сульфидные руды были осаждены в течение процесса складчатости и что руды представляют собой результат осаждения в благоприятной обстановке из растворов, происшедших из кристаллизующихся гранитов.

В районе Норберга в некоторых местах наблюдается тесная связь между гранитными языками и метасоматически образовавшимися кварцитами.

Фалун. В этом месторождении имеется большое округлое центральное массивное рудное тело, в большей части состоящее из пирита и в меньших количествах из халькопирита, пирротина, сфалерита, галенита и магнетита. В некоторых частях этой массивной руды встречаются остатки доломита, часто измененного до офикальцита, а преобладающим скарнообразующим минералом является тремолит. В других частях рудного тела найдены остатки

кварцитовой руды и в качестве преобладающего скарнового минерала — куммингтонит или антофиллит. В направлении на юго-восток это рудное тело сужается до узкого языка (lobe), который вместе с округлым центральным телом окружен зоной измененных пород — скёлей — до 30 *м* шириной. В южном направлении, в непосредственном соседстве со скёлями, проявляются почти неизмененные породы, а в других направлениях они окружены рудными кварцитами, которые переходят в слюдяные сланцы. Рудные кварциты секутся трещинами, по которым происходило изменение пород в скёли, часто содержащие пирит. В самих рудных кварцитах местами встречаются большие участки с халькопиритом и отчасти пиритом, образующими включения и жилки. В рудных кварцитах были встречены небольшие скарново-доломитовые тела с халькопиритом, пиритом, сфалеритом и галенитом, но они незначительны по сравнению с центральным рудным телом.

Амфиболиты и кварцевые порфиры проявляются в сложных дайках, в которых амфиболиты образуют краевые зоны. Кроме того, существуют и отдельные амфиболитовые дайки. Сульфидообразующие процессы моложе этих даек, минералы которых иногда изменены, например роговая обманка замещена грюнеритом. Дайки были сильно деформированы до начала процесса магнезиального метасоматоза.

С XIII столетия и до последней декады XIX Фалунское месторождение разрабатывалось на медь. За последние десятилетия наибольшую важность приобрел пирит, а медь, цинк и свинец стали добываться только в качестве побочных продуктов.

Руды, добываемые сейчас на Фалунских рудниках, содержат в среднем S 30%, Zn 4% и Pb 1,5%. Средняя годовая добыча выражается цифрой 7000 *т* цинковых концентратов и 2000 *т* свинцовых концентратов.

Гарпенбергское месторождение также разрабатывалось в средние века на медь и серебро, и только в начале XX в. на нем началась добыча преимущественно свинца и цинка.

В этом рудном поле сфалерит и галенит вместе с пиритом, пирротином и халькопиритом присутствуют в большем количестве в рудных кварцитах и слюдяных сланцах. В местах наибольшей концентрации минералов образуются прожилки массивной руды (в среднем 1—2 *м* шириной), содержащие обломки (шары) окружающей породы. Эти прожилки, как вообще все рудные тела, ориентированы в направлении ясно выраженной слоистости. В штокверке скёлевых пород, секущем рудную площадь, местами также встречаются небольшие рудные скопления. То же относится к небольшим доломитово-скарновым телам, где преобладающим скарнообразующим минералом является тремолит, в большей или меньшей степени измененный в тальк.

В некоторых из старых рудников содержания цинка и свинца были очень низки, и эти руды добывались из-за содержащейся в них меди; свинец же и серебро извлекались как побочные продукты. Наиболее крупные центральные рудные тела содержат мало меди и разрабатываются главным образом на цинк и свинец. Эти свинцово-цинковые руды занимают общую площадь только около 2000 *кв. м.* Благодаря разведочным работам последних лет удалось достаточно точно определить северное продолжение оруденения в старых рудниках до горизонта 220 *м*; разведочные работы ведутся и дальше — до глубины 300 и 380 *м*. В результате определилась значительно бо́льшая площадь залегания руд, по меньшей мере равная 8000 *кв. м*, со средним содержанием металлов в руде: цинка 5,2%, свинца 3,5 и меди 0,3%.

Эти крупные рудные тела были отделены от других рудных залежей зоной брекчирования, заполненной водой из вышележащего озера; только после осушения озера оказалось возможным продолжить разведку в северном направлении. Было обнаружено, что большие участки — площадью в 6700 *кв. м* на глубине 60 *м* и 5500 *кв. м* на глубине 100 *м* — были изменены в процессе окисления. Однако на горизонте 220 *м* только самая северная часть рудного тела подверглась такому изменению и вполне вероятно, что на глубине руда окажется неизмененной.

Если разведки на горизонте 380 *м* покажут ту же самую площадь оруденения, т. е. 8000 *кв. м*, то тогда это рудное поле можно будет считать самым крупным свинцово-цинковым месторождением центральной Швеции.

Риллсхиттан. Рудники Риллсхиттан расположены вблизи Гарпенберга; в этих месторождениях центральная богатая цинковая руда с второстепенными количествами галенита и халькопирита окружена диопсид-гранатовым скарном с железной рудой. Цинковая руда определенно моложе железных руд и вмещающих их скарновых масс и была отложена в центральном известняковом теле, которое сохранилось после изменения железных руд в скарновые железные руды. В цинковых рудах иногда встречаются остатки известняка. Жильными минералами богатых цинковых руд являются главным образом кварц и флюорит. Метасоматические изменения наблюдаются и в более древних железорудных скарнах, с тремолитом, гумитовыми минералами, флогопитом и другими новыми минералами, а также в лептитах, которые местами изменены в рудные кварциты с кордиеритом и альмандином. Некоторые амфиболитовые дайки моложе скарновых железных руд, но старше сульфидных руд и следующего после них метасоматического изменения.

Цинковая руда в рудниках, повидимому, полностью выработана.

Саксбергет. Это месторождение является третьим из крупных свинцово-цинковых месторождений фалунской группы. В Саксбергете наблюдается два различных типа рудопроявления. К первому типу относится жильное тело, приуроченное к прямолинейной трещине, заполненной мелкозернистой массивной рудой; руда состоит главным образом из галенита, сфалерита и халькопирита вместе с пиритом и пирротином; она нарушена и содержит мелкие и крупные окатанные обломки скарна, рудного кварцита, доломита и даже пегматита. К югу от этой прямолинейной трещины сильно складчатое известняковое тело изменено в доломит; эта порода, в свою очередь, в значительной степени замещена скарновыми минералами — диопсидом, тремолитом, антофиллитом, форстеритом, гумитовыми минералами, шпинелью, тальком и серпентином и по периферии — хлоритом, биотитом и роговой обманкой. В скарнах и отчасти в доломите встречаются те же самые минералы, что и в жильном теле первого типа, но в значительно меньших количествах и очень неравномерно распределенные. Лептит, окружающий доломитово-скарновую массу, сильно изменен в рудный кварцит, богатый кордиеритом и жедритом, часто также альмандином. Лептит к северу от трещины, наоборот, остался неизмененным. Пегматитовые дайки секут скарны и доломитовые руды. Присутствие округлых обломков пегматитов в массивной руде, заполняющей трещину, обусловлено более поздними тектоническими подвижками, проявившимися после образования пегматита, который, в свою очередь, несомненно, моложе, чем метасоматические изменения, приведшие к образованию сульфидных руд.

Свинцовые и цинковые руды, добываемые в настоящее время в Саксбергете, в среднем содержат цинка 4,5%, свинца — 3,0 и меди — 0,9%. Продукция этого рудника и рудников Гарпенберг, Лёвозен, Кальвбекен и Льюснарсберг, принадлежащих одной и той же компании, достигла в 1945 г. 14 060 *т* цинковых концентратов и 7900 *т* свинцовых. Наибольшая часть этого количества падает на Саксбергет. В будущем Гарпенберг, несомненно, станет наиболее крупным рудником центральной Швеции и общее количество его продукции, несомненно, будет значительно увеличено.

Остальные рудники, добывающие в настоящее время свинец и цинк, это — Кальвбекен, Лёвозен, Льюснарсберг и Столльберг.

Кальвбекен. Месторождение содержит два небольших штокообразных рудных тела, составляющих вместе площадь только в 200 *кв. м*, выработанные до глубины 420 *м*. Интересной особенностью этого месторождения является форма рудных тел. В обоих рудных телах характер проявления остатков доломитов ясно показывает, что первоначальные известковые пласты были деформированы в связи с образованием лептитовой формации и что

известняк испытал пластическое течение вдоль оси двух складок. Вследствие метасоматического изменения сульфиды были осаждены в известняках и во вмещающих их рудных кварцитах.

Лёвозен представляет собой небольшое, но геологически очень интересное месторождение. В известняках, переслаивающихся с лептитами, присутствуют скарновые железные руды с варьирующими, часто довольно высокими содержаниями кварца. Эти железные руды местами обнаруживают правильную полосчатую структуру, свидительствующую об их осадочном происхождении, причем скарновые минералы образовались в результате реакции между оруденелыми пластами и карбонатами.

Железные руды, известняки и лептиты интрудированы большим количеством даек зеленокаменных пород.

Сфалеритовая и галенитовая вкрапленность моложе зеленокаменных даек и интрудированных ими железных руд. Рудная вкрапленность встречается в железных рудах, в скарновых массах или в известняках и образовалась в процессе метасоматических изменений, которые создали новые скарновые минералы в известняках и изменили тонкие лептитовые слои почти нацело в рудные кварциты. Самая богатая руда залегает там, где рудоносный комплекс смят в складки.

Льюснарсберг. Медные руды Льюснарсберга были найдены в начале XVII в., но сопутствующие им цинковые и свинцовые руды добывались только в незначительном количестве. Теперь добыча сосредоточена исключительно в этих рудах, которые проявляются в виде неправильных скарновых масс в сильно складчатом известняко-доломитовом теле. Скарновые массы состоят из тремолита, актинолита, антофиллита, форстерита, гумитовых минералов, а на границе рудного тела — из роговой обманки, биотита и хлорита. Сама граница отмечена развитием измененных пород («скёлей») с биотитом и хлоритом; окружающие лептиты изменены в рудные кварциты с альмандином, кордиеритом и жедритом. Со сфалеритом и галенитом встречаются в небольших количествах пирит, пирротин, халькопирит и кубанит. Магнетит, встречающийся местами в больших массах, вероятно, имеет своим источником более древние железные руды, которые попали в совершенно иные условия и были импрeньированы сульфидами.

Разработка месторождения Льюснарсберг, как уже сказано выше, ведется в небольшом масштабе. Для дальнейшей эксплоатации необходимо осуществление планируемой более широкой разведки.

Кавельторп. Вблизи Льюснарсберга расположены рудники Кавельторп. Здесь вскрыты четыре сильно смятых и нарушенных

пласта известняка, измененные в связи с интенсивными процессами метасоматоза в доломит, офикальцит и скарн. Наиболее интересной особенностью этого месторождения является ясно выраженная зональность распределения минералов: роговая обманка и биотит располагаются ближе к границе известняков и окружающих кордиерит-жедритовых кварцитов, и особенно в их суживающемся окончании, в то время как диопсид-тремолит-антофиллит-куммингтонитовый скарн находится в центральных частях рудного тела. В скарне минералы, наиболее богатые магнием, всегда кристаллизовались позже, чем минералы с низким содержанием этого элемента. Сульфиды железа (пирит, пирротин, халькопирит и кубанит) концентрировались в темном железосодержащем роговообманково-биотитовом скарне, а сфалерит и галенит, наоборот, в светлом диопсид-тремолит-антофиллит-куммингтонитовом скарне. В то же время в темном скарне галенит встречается более часто, чем сфалерит, а в светлом скарне халькопирит более обычен, чем пирит и пирротин. Таким образом, здесь имело место фракционное разделение в следующем порядке: железо, медь, свинец, цинк; порядок же кристаллизации в каждой отдельной фракции был следующим: пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит.

Цинковые и свинцовые руды в Кавельторпских рудниках могут считаться выработанными. Поиски новых рудных тел не привели к положительным результатам.

Столльбергские месторождения составляют южную часть рудного поля Западного Сильвберга (западный склон Серебряной горы). Это рудное поле содержит главным образом марганцовистые железные руды, магнетитовые руды с кнебелитом, родонитом и даннеморитом. Наиболее крупные рудные тела южной части Столльберга окислены до лимонита, с зоной мартита на границе с первичной магнетитовой рудой. Эта последняя рудная залежь разрабатывалась в средние века, когда добывался галенит из-за содержащегося в нем серебра. В центральной (Даммберг) и северной (Свартберг) частях месторождения марганцовистые железные руды и марганецсодержащие известняки были импрельнированы сфалеритом и галенитом в связи с метасоматическими изменениями лептитов в кварциты, содержащие альмандин, кордиерит и жедрит.

Несколько лет тому назад в южной части Столльберга за пределами железорудных и известняковых тел была найдена небольшая, но очень богатая залежь свинцовой руды, содержащая в среднем 15% свинца и 2,5% цинка. На периферии западного Сильвбергского рудного поля в течение последних лет было разведано еще два месторождения — Гренсгруван и Твистегруван. Разведочные работы еще не закончены.

Сала. К числу других, не упоминавшихся выше свинцово-цинковых месторождений, относящихся к Фалунскому типу, нужно причислить месторождения Калльмора, Верхнего Сильвберга, Свартвика и Сала; эти месторождения разрабатывались раньше, и в настоящее время добыча на них не ведется. Из них здесь можно только кратко описать месторождение Сала, где в последние годы велась интенсивная разведка.

Салские рудники до 1920 г. давали главную массу продукции свинца и серебра в Швеции. Рудные минералы сфалерит и галенит проявляются вместе со скарновыми минералами, особенно диопсидом и тремолитом, в доломитовом теле. Наиболее богатые руды, образующие крупные скопления, всегда ассоциируют со скарном в большей степени, чем мелкие и бедные рудные тела. В связи с рудами здесь также проявляются измененные породы («скёли»), состоящие из талька, серпентина и хлорита, вместе со скарновыми минералами и кремнеземом и часто заключающие обломки доломита и скарна. Очевидно, что эти породы послужили проводящими путями для растворов, из которых образовались руды и скарны. Позже тектонические движения распространились вдоль зон этих пород.

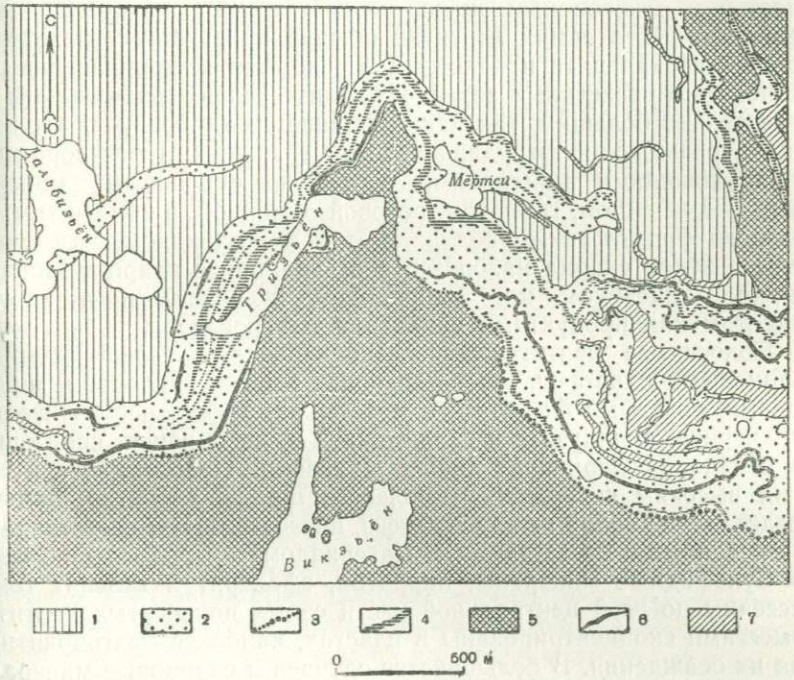
В свете наших современных знаний мы можем сделать заключение, что в глубоких частях месторождения Сала остались только цинковые руды; тем не менее разведочные работы ведутся в пределах крупного доломитового массива как в самих рудниках, так и вблизи них.

Оммебергский тип

В центральной части Сёрмландского района все породы изменены в гнейсы и инъецированы мелкими и крупными пегматитовыми и гранитными массами, ориентированными в направлении слоистости. Во внешней зоне пегматитовый и гранитный материал становится более обильным и принимает облик более округлых гранитных масс и отчетливых пегматитовых даек, обычно секущих слоистость под тупым углом.

Изменение в жилковатый гнейс обусловлено влиянием высокой температуры, связанной с действием направленного давления, и воздействием гранитных эманаций и растворов, поднимавшихся из глубин земной коры, где палингенетические процессы были более интенсивными. Весь комплекс, измененный в жилковатый гнейс, служил в качестве фильтра, увеличивая содержание алюминия, железа и магния и уменьшая содержание главным образом кремнезема и щелочей. Пегматиты и граниты в зоне интрузии выше гнейса являются концентрированными продуктами сегрегации. Основная часть слагающих их элементов была вынесена из глубоких частей земной коры и частично извлечена из

пород, доступных для исследования. В связи с этими процессами некоторые металлы были вынесены из осадочных пород и более древних сульфидных руд и осаждены за фронтом жилковатого гнейса (мигматитовый фронт) в зоне интрузии. Среди других металлов были осаждены цинк и свинец, особенно там, где мигматитовый фронт относительно резко выражен, как это наблюдается



Фиг. 94. Геология рудного поля Оммеберг. (По Иогансону.)

1—красный лептит; *2*—серый лептит; *3*—пирротин; *4*—известняк; *5*—мигматиты; *6*—цинковая руда; *7*—зеленокаменные породы.

в Оммебергском рудном поле и в северной части Утё, в южном Стокгольмском архипелаге.

В Оммеберге жилковатые гнейсы залегают на юге рудоносной зоны. Общий вид площади гнейсов в целом носит довольно однообразный характер, но при детальном рассмотрении это однообразие нарушается неправильными пропластками и жилами пегматитового и гранитного характера. Пегматиты и граниты этой площади интрудировали в виде протуберанцев в северную рудоносную зону.

Породы южных гнейсов часто содержат также кордиерит, андалузит и силлиманит и первоначально, несомненно, представляли собой аргиллитовые осадочные породы.

На севере центральная рудоносная зона ограничивается однородным красным лептитом, богатым калием. Этот лептит, несомненно, вулканического происхождения.

Центральная часть зоны оруденения характеризуется большим разнообразием типов пород. Преобладающие серые лептиты в большинстве случаев отличаются отчетливой полосчатостью. Такая структура особенно типична для краевых пород рудных пластов и пластов известняка, перемежающихся с полосчатыми лептитами. И в самих лептитах обычно присутствует некоторое количество кальцита и доломита в виде тонких пропластков или равномерно рассеянных зерен. Их количество первоначально было значительно бо́льшим, так как большинство карбонатов, вступивших в реакцию с интрудировавшими гранитными растворами и с окружающими минералами, замещено скарновыми минералами — диопсидом, гранатом, роговой обманкой, а вблизи мигматитового фронта также волластонитом и везувианом. Эти минералы в зонах скарна находятся в ассоциации с кварцем, микроклином, андезином или лабрадором и цоизитом, а иногда эпидотом как продуктами изменения плагиоклазов.

Полосчатые лептиты, переслаивающиеся с известняками и скарновыми пластами, являются более гнейсифицированными породами, богатыми биотитом; они содержат небольшое количество кордиерита, андалузита и силлиманита и, несомненно, произошли из осадков, содержащих много глинозема. Полосчатые лептиты с их высоким содержанием полевого шпата, вероятно, раньше представляли собой пепловые туфы, переслоенные с известняками и смешанные с известняковым материалом.

Сульфидные минералы, пирротин, сфалерит и галенит тонко рассеяны по всей центральной части серых полосчатых лептитов и местами сконцентрированы в пластах, наиболее благоприятных для их осаждения. В большинстве случаев и скарновые минералы и сульфиды появляются в одних и тех же пластах, и характер их проявления указывает на то, что своим происхождением они обязаны тем же процессам.

Интенсивность сульфидного оруденения и скарнообразования значительно увеличивается в южной части центральной зоны вблизи мигматитового фронта, и только здесь руда достаточно богата цинком и свинцом для рентабельности ее разработки.

Мигматитовый фронт совпадает с самым южным известняковым пластом. В этом пласте присутствует вкрапленность пирротина, который ассоциирует с небольшим количеством скарновых минералов в гнейсовой породе. К северу от этого пласта с пирротиновой вкрапленностью лептиты с пропластками известняка содержат большие количества скарновых минералов, особенно волластонита и диопсида, и меньшее количество других упомянутых выше минералов. Непосредственно к северу от волластонитовой

зоны, иногда отделяясь от нее тонким слоем серого лептита, располагается главный пласт свинцовой и цинковой руды; он начинается скарном, состоящим главным образом из пироксена с гранатом, роговой обманкой, слюдой и остатками известняка. В этом скарновом пласте пирротин (который не присутствует в самой цинковой и свинцовой руде) ассоциирует с некоторыми количествами пирита, сфалерита и галенита.

Свинцовые и цинковые руды, проявляющиеся непосредственно к северу от этой пирротино-скарновой зоны, представлены вкрапленностью сфалерита и галенита в тонкополосчатом лептите; жильная же порода состоит главным образом из микроклина и кварца с различными количествами пироксена, граната и кальцита. Местами в руде были также встречены волластонит и везувиан.

Самая богатая руда содержит 40—50% цинка, который является в ней преобладающим металлом. Наблюдаются все переходы от этого высокого содержания, вплоть до обычного лептита. В более богатых рудах часто присутствуют остатки лептита в виде тонких пропластков или неправильных масс. Встречены также остатки известняка.

Разрабатываемая в настоящее время руда проявляется в основном в виде одного или двух правильных пластов. Однако при детальном рассмотрении залегание руды не так правильно, особенно в западной части рудного поля, где руда представлена сильно смятыми и неправильными, часто линзообразными телами. Даже в восточной части рудной площади, характеризующейся большей непрерывностью рудных тел, такие смятия и складки обычны. Наиболее мощные и богатые рудные тела встречаются в искривлениях и изгибах складок; в этих условиях увеличивается также и мощность пирротиновой скарновой зоны южной части месторождения. Несомненно, что тектонические деформации старше или одновременны с сульфидообразующими процессами.

В рудах часто наблюдается определенная зональность, в результате которой сфалерит располагается ближе к мигматитовому фронту, а галенит — в удалении от него.

Как уже говорилось выше, гранитные и пегматитовые выступы (протуберанцы), выдающиеся из мигматитового фронта на юге, местами проникли в рудоносную зону путем диффузии. Это особенно относится к тем местам, где залегает богатая руда. В таких случаях руда становится более крупнозернистой, чем обычно. В очень богатой руде встречены также остатки пегматитов, и характер их проявления с несомненностью говорит о том, что пегматиты не могут быть моложе руд; наблюдения же указывают на тесную генетическую связь между пегматитами, с одной стороны, и рудами и скарнами — с другой. Сульфидо- и скарнообразующие растворы и пегматиты пришли из мигматитового фронта в связи с палингенетическими процессами, изменившими

породы на юге в жилковатый гнейс. Изменение такого же характера наблюдается местами и в центральной зоне, особенно в более гнейсифицированных породах, богатых биотитом, но здесь это изменение проявляется гораздо слабее.

Местами дальнейшая мигматизация была задержана у границы переслаивания с известняками и у центральной известняковой зоны, в которой палингенетические растворы вызвали образование скарна и осаждение сульфидных минералов. Осаждение имело место на некотором расстоянии от мигматитового фронта, где залегали благоприятные для осаждения серии породы и где в течение палингенетических процессов поддерживались надлежащие температура и давление. Тектонические движения играли также большую роль в локализации наиболее мощных и богатых рудных залежей в складчатой части комплекса пластов.

В Оммеберге в настоящее время добыча ведется на площади 12 000 *кв. м*. Содержание металлов в руде в среднем: цинка — 12% и свинца — 2%. Продукция 1945 г. равнялась 21 769 *т* цинкового концентрата и 2356 *т* свинцового концентрата.

Цинковые и свинцовые руды в Утё представляют собой пластообразные импреньяции в полосчатом комплексе известняков, лептитов и пород переходного между ними типа. Лептиты первоначально были пепловыми туфами, и переходным типом является туфовый материал, смешанный с карбонатами в количествах, изменяющихся от пласта к пласту. Руды состоят из галенита и пирротина в изменчивых пропорциях; в связи с оруденением известняк и содержащие известняк лептиты были изменены в скарн, в значительной части состоящий из диопсида, тремолита и скаполита. Мигматитовый фронт расположен в северо-западном направлении от рудоносной зоны и здесь, так же как и в рудном поле Оммеберга, мигматизация была задержана на границе богатого известняком полосчатого комплекса; в этот комплекс продолжали проникать растворы и эманации; они приносили материал, послуживший для образования скарнов и сульфидов. Хотя за последние годы был проведен ряд детальных исследований, тем не менее ввиду их незаконченности пока трудно оценить будущее значение этих месторождений.

ДИСКУССИЯ

Т. Пикеринг задает вопрос, наблюдается ли значительное вторичное обогащение свинцовых и цинковых руд в окисленной зоне рудных тел в северной и центральной Швеции.

Е. Грип сообщает, что зона выветривания и обогащения в северной Швеции в большей своей части была срезана ледяным покровом, так что только в редких случаях там встречаются следы доледникового выветривания.

Н. Магнуссон замечает, что в центральной Швеции наблюдается глубокое выветривание на руднике Гарпенберг; в некоторых местах оно распространяется на глубину до 220 *м*.

КИТАЙ

К. СЕ[1]

О СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ И СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КИТАЯ

Краткое содержание

В статье дается обзор геологии свинцовых и цинковых месторождений Китая. Данные базируются на исследованиях Горнорудного бюро и Национальной комиссии по запасам. Приведено описание некоторых месторождений (включая Шикоушань, Ляоцзяшань, Гуаншаньчань, Лаочуншань и Гяньбаошань). Месторождения относятся к пирометасоматическому, мезотермальному и супергенному типам.

Введение

Хорошо известно, что в Китае серебро было в обращении издавна и что, согласно историческим данным, серебряные руды в прошлом добывались во многих местах страны. Добыча и выплавка серебра также представляют древнюю отрасль промышленности, в то время как цинк стал известен в Китае в гораздо более позднее время.

Настоящая заметка имеет задачей осветить некоторые существенные особенности свинцовых, цинковых и серебряных месторождений Китая. Для южного Китая, где широко распространены свинцовые и цинковые месторождения, проводится группировка месторождений по географическому признаку.

Автор надеется, что эта заметка окажется полезной для общего ознакомления тем, кто интересуется свинцовыми, цинковыми и серебряными рудниками Китая. Она также может служить руководством для тех, кто намерен заняться исследованиями или поисками этих металлов.

Географическое распределение

Региональная группировка свинцовых, цинковых и серебряных районов южного Китая может быть дана в следующем виде:

1. *Прибрежный район в Восточном Чжецзяне и Фуцзяне.* Этот район включает группу месторождений, залегающих в риолитах, порфирах или гранитах. Рудными минералами являются: галенит,

[1] C. Y. Hsieh.

сфалерит, пирит и халькопирит, ассоциирующие с кварцем в составе кварцевых жил. Среди месторождений этой группы заслуживают быть отмеченными: Юнцзя, Линхай, Цзиньсянь, Сяншань, Нинхай, Цзинтянь, Пинян и др. в Чжецзяне и Минся, Юнтай, Миньхоу, Гудзян и др. в Фуцзяне.

2. *Район Сяньялин — Уишань в Цзянси, Чжецзяне и Фуцзяне.* Этот район включает многие хорошо известные древние серебряные рудники, как например Дэсин, Яянь, Чишан, Цзиси и округ Гуанфын в восточном Цзянси. Месторождение Дэсин разрабатывалось еще при династии Ру в VI в. Свинцовые и цинковые месторождения Чжуцзи и Данцзи в Чжецзяне, разрабатывавшиеся некоторое время в течение первой мировой войны, также относятся к этому району хотя они и расположены вне хребта Уишань.

3. *Район Учуншань в западном Цзянси.* В хребте Учуншань встречаются многочисленные месторождения в районах Шангао, Пинсян и Анфу. Месторождение Мыншань этой группы разрабатывалось в период династии Сун и Мин. Они связаны с гранитными интрузиями.

4. *Район Центральной Хунани.* В этом районе находится знаменитый рудник Шикоушань. Из других месторождений следует отметить Сянсян, Нинсян, Хеншан, Линсян и др.

5. *Район Наньлин в провинции Хунань, провинции Гуандун, Гуанси, Цзянси и Юньнань.* Горы Наньлин в Китае еще не очень ясно оконтурены. В нашей концепции геотектонического понимания это горная система приблизительно широтного простирания, лежащая на границе провинций Цзянси, Гуандун, Хунань и Гуанси. Она может быть протянута и далее к западу и включать горы юго-восточной и южной частей провинции Юньнань, хотя орографически это не так ясно. В этом районе прежде всего следует упомянуть месторождения Чинчуаньтань и Чжэнсянь.

Другие месторождения найдены в Линьу, Гуйянцзяне, Цзихуа и т. д. В северо-восточном Гуандуне заслуживает рассмотрения месторождение Цзяолин, разрабатывавшееся некогда англо-американской компанией. Другие месторождения находятся в Лочане, Сысине, Яншане и др. районах северного Гуандуна. Следует также упомянуть месторождение Луншэн, Пайшоу и Линьгуй в Северном Гуанси и Веньшан, Гэйцзю и Пини в провинции Юньнань.

6. *Область плато западной Хунани, юго-западной части Хубэя и северо-восточной части Гуйчжоу.* В этой области имеется большое количество месторождений свинца, цинка и серебра, залегающих главным образом в известняковых отложениях от ордовикского до пермо-карбонового возраста. Рудные минералы образуют вкрапленность, гнезда и жилки неправильной формы. Галенит в рудах чаще преобладает над сфалеритом. Жильные минералы обычно низкотемпературного типа — такие, как барит, кальцит

и др. К числу этих рудных районов относятся: Цзыли, Баоцзин в западной Хунани; Синшан, Хофын, Суанун, в юго-западном Хубэе; Чжэньюань, Дунжэнь и Сяцзян в восточном Гуйчжоу.

7. *Участок перегиба дуги Гуанси.* Дугообразная структура провинции Гуанси хорошо изучена Ли (J. S. Lee) и его помощниками. В апикальном перегибе дуги Гуанси породы разбиты трещинами и прорваны интрузиями. Здесь встречаются свинцово-цинковые месторождения Луншаньшу в округе Гуйсянь и др.

8. *Район в центральном и юго-западном Гуандуне.* Здесь имеется большое количество свинцовых и цинковых месторождений, таких как Инан, Полу, Дзунхуа, Чэнуньшань, Момин и т. д. Детальные геологические данные по ним отсутствуют.

9. *Восточная Юньнань и западная часть Гуйчжоу.* Наиболее известны здесь месторождения Ломачан, в Лотяне, Гуаншанчань в Танчуане, Фулочан в Люпине и Чанватун в Пиню в Юньнане и многочисленные месторождения в округах Вейнин и Шунчен в западном Гуйчжоу. Все эти месторождения залегают в известняках послесилурийского и дотриасового возраста и, повидимому, связаны с пермскими базальтовыми экструзиями.

10. *Район центральной Юньнани и южного Сикана.* Кроме месторождений меди, железа, никеля и др., здесь встречается также большое количество месторождений свинца, цинка и серебра. Все они практически находятся в синянской формации и генетически связаны с дояншаньянским орогенезисом и вулканизмом. Наиболее известным является цинковое месторождение Тяньбаошань района Хойли в южном Сикане.

11. *Район западной Юньнани.* Месторождения этого района, повидимому, залегают в синянской формации и связаны с интрузиями.

Хуаншань, Чжуцзи, провинция Чжецзян

Местоположение. Месторождения Хуаншань расположены к юг-юго-востоку от города Чжуцзи в западном Чжецзяне. Эта область имеет форму котловины, окруженной со всех сторон довольно высокими риолитовыми горными цепями. Чжуцзи — город средних размеров; он находится приблизительно в 40 *км* к югу от Сяошаня на другой стороне реки Цзяньдан против Хэнчоу. Большая часть свинцово-цинковых месторождений расположена вблизи от Хуаншаня.

Геология. Впадина Хуаншань сложена низкими холмами из доордовичских метаморфических пород. Эта метаморфическая свита может быть подразделена на три единицы: а) лакколитовое основание из несколько раздробленного и метаморфизован-

ного диорита, б) сланцевая, глинисто-сланцевая, кварцитовая и гнейсовая формации, в) темносерый кремнистый известняк, мощностью около 200 *м*. Диорит довольно грубый и плотный, но никогда не бывает порфировым. Известняк, известный под названием известняка Каовукень, падает большей частью на восток под углом около 45°. Впадина окружена высокими риолитовыми холмами; риолитовая формация имеет в своем основании конгломератовый песчаник, в средней части — риолит и риолитовый порфир и в верхней — туф и обсидиан. Всю свиту относят к меловому периоду. Риолитовая свита имеет тектонический контакт с диоритом; она несогласно перекрывает метаморфический известняк. Магматические апофизы в форме пегматитовых жил и даек встречаются либо в известняке, либо в сланцевых и гнейсовых формациях, но настоящих интрузий послериолитового возраста здесь не найдено.

Рудные месторождения. Доордовичский известняк является главной рудоносной формацией. В меньших количествах руда имеется также в риолитовой свите. Месторождения встречаются либо в виде линзовидных жил, либо в виде небольших линз или карманов неправильной формы. По своему типу месторождения варьируют от пирометасоматических до гидротермальных. Пегматитовые и мусковитовые жилы (dikes) неизменно присутствуют в минерализованном и мраморизованном известняке. Несмотря на то что контактовые силикатные породы здесь ясно выражены, настоящей магматической интрузии пока еще не обнаружено. Полагают, что эти месторождения находятся в генетической связи с некоей третичной батолитовой интрузией, давшей начало образованию антиклинальной структуры этой области; процесс эрозии не зашел, однако, здесь настолько далеко, чтобы обнажить изверженные породы.

В окрестностях Хуаншань называют всего пять районов, в которых имеются свинцово-цинковые месторождения. Приводим ниже краткое их описание.

Иньгэндацзянь. Это месторождение расположено к юго-западу от Хуаншань. Сфалеритовые руды и в небольшом количестве галенит имеются в известняке Гаоугэн. В мраморизованном известняке замечается изменение породы с образованием диопсида, эпидота, граната и кварца. Вблизи от рудной зоны встречаются пегматиты. Плотная и зернистая руда встречается в виде рудных тел неправильной формы. Она относится к пирометасоматическому типу.

Гаоугэн. Руда этого месторождения залегает здесь в виде жил и линз в мраморе и ассоциирует с мусковитом, апатитом, эпидотом и доломитом. Руда состоит главным образом из сфалерита с небольшой примесью галенита. Мощность жилы достигает

местами 20—60 *см*. Поблизости имеется еще мусковит-ильменитовая жила. Тип месторождения — гидротермальный метасоматический.

Танлиу. Это месторождение расположено к югу от Хуаншаня. Здесь встречаются жилы мощностью до 1 *м*, но контактовых силикатов не имеется. Руда крупнокристаллического или мелкозернистого сложения содержит в себе сфалерит, галенит, пирит и халькопирит. Пегматиты и интрузивные апофизы попадаются часто. Тип месторождения — гидротермальные жилы, образовавшиеся при относительно низкой температуре.

Тунайшань. Месторождение находится к северо-востоку от Хуаншаня. Неправильной формы полосчатые жилы со сфалеритом, пиритом и галенитом залегают в перекристаллизованном известняке. Кальцит является преобладающим жильным минералом. Встречаются пегматитовые и гранитовые апофизы. Местами риолитовый покров. Тип месторождения — гидротермальный.

Даоцзювэнь. Месторождение это расположено к юго-востоку от Хуаншаня. Оно отличается от вышеназванных тем, что руда залегает в риолите. Неправильной формы жилы и жилки содержат мелкозернистый сфалерит и галенит с небольшой примесью пирита. Контактовые силикаты и пегматит отсутствуют, наблюдается только окремнение и пиритизация. Тип месторождения — гидротермальный, образовавшийся при относительно низкой температуре.

Иншань, округ Дэсин, провинция Цзянси

Геология и рудные месторождения. Дэсин расположен в северо-восточной части Цзянси недалеко от границы Чжэцзяна.

Геологическое строение области следующее: додевонские филлиты несогласно перекрываются меловыми базальными конгломератами, граувакками и туфогенными породами. В Иншане, Гэнаньтин и Чунмитай филлиты прорваны дайками или небольшими штоками кварцевых порфиров. В настоящее время в Иншане можно видеть старую шахту, находящуюся на самой вершине холма, с ясно развитой железной шляпой и большой открытой выемкой на юго-западном склоне того же холма. Отвалы пустой породы находятся неподалеку; здесь был найден кусок филлита, содержащего галенит и некоторое количество спекулярита, церуссита, барита, эпидота и кварца. Железная шляпа состоит в основном из лимонита и кварца, с небольшой вкрапленностью галенита. Говорят, что к востоку от города в Дэнгэнчане находится старая плавильная печь.

Железные шляпы имеются также в Гэнаньтин и Чунмитай, где такой же кварцевый порфир интрудирует филлит. В желез-

ных шляпах встречаются также сфалерит и в небольшом количестве галенит. Эти два месторождения никогда не разрабатывались.

Шикоушань, Чаннин, центральный Хунань

Местоположение. Это одно из немногих свинцово-цинковых месторождений в Китае, которое разрабатывается современными методами. Оно расположено юго-восточнее Чаннина, к югу от Ханяна.

Геология. Геология этого района довольно сложная (фиг. 95). Многие геологи и горные инженеры, как китайцы, так и иностранцы, исследовали это месторождение, но приходили к несколько противоречивым выводам. Согласно данным новейших исследований, главная структура представляет собой антиклиналь, простирающуюся в север-северо-западном направлении в северной своей части и в север-северо-восточном направлении в южной части. Ядро антиклинали состоит из верхнекарбонового известняка Хутянь; этот известняк выходит на поверхность только в нескольких пунктах вокруг рудника. Обнажение известняка на юге в Луньванмяо может быть частично отнесено к этому же возрасту.

Известняк Хутянь перекрывается известняком Янсинь нижнепермского возраста. Последний обнажается на поверхности только у Луньванмяо, в подземных же разработках рудника он встречается в больших количествах и является главной рудоносной формацией. За известняком Янсинь следует пермская угленосная свита песчаников, глинистых сланцев и кремнисто-глинистых сланцев с углями или без них. Лакколитовая интрузия кварцевого монцонита занимает центральную часть области Шикоушань; размеры интрузии — 1800 *м* в меридиональном направлении и 900 *м* — в широтном. Эта интрузия прокладывала себе дорогу более или менее вдоль оси антиклинали; она разрушила или ассимилировала бо́льшую часть пермо-карбонового известняка в центральной части антиклинали, ограничив, таким образом, возможность выхода его на поверхность только на южном и северном концах интрузии. Пермская угленосная свита образует, таким образом, окаймление южного и юго-западного края кварц-монцонитовой интрузии. Далее на запад залегает вызывавшая много споров формация кварцитовых песчаников и глинистых сланцев, которая на основании новейших данных, повидимому, должна быть отнесена к юре. На восточной и северо-восточной сторонах интрузии залегают красноцветные отложения конгломератов, песчаников и глинистых сланцев, полого падающих на восток; они представляют собой самую молодую формацию в данной области. В окрестностях рудника геологическое

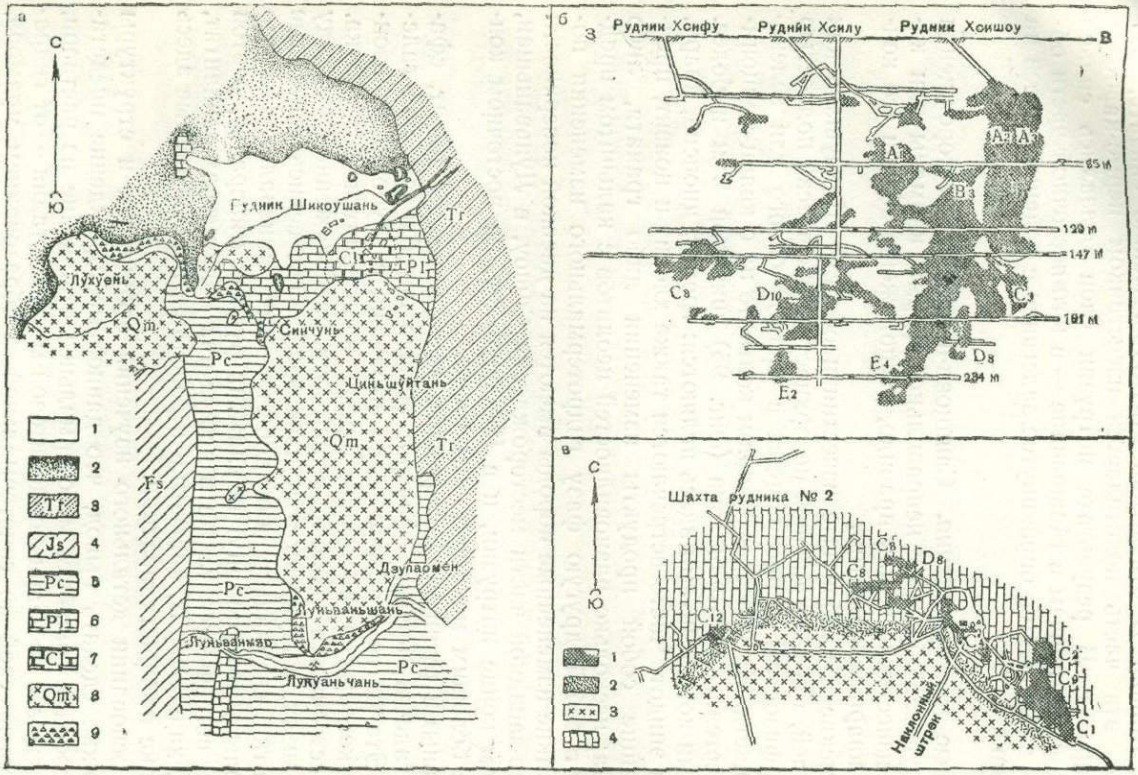
строение сильно маскируется аллювиальными отложениями и красной глиной. В отношении структуры можно сказать, что, вероятно, эта часть подстилается известняком пермо-карбонового возраста. В результате интрузии слои оказались сильно нарушенными, причем в Мааньшане — в юго-восточной части области — наблюдается опрокинутое залегание с падением слоев на северо-запад.

Рудные месторождения. Свинцово-цинковые месторождения в Шикоушане образуют неправильной формы карманы или камеры в известняке и, как правило, расположены вблизи его контакта с кварц-монцонитом.

Пермские и карбоновые известняки области Шикоушань как под землей, так и на дневной поверхности практически полностью метаморфизованы и превращены в мрамор белого или зеленоватого цвета. На непосредственном контакте их с кварц-монцонитом имеется силикатная зона (фиг. 95) шириной 2 *м* и более. Главными компонентами здесь являются: гранат, диопсид, кварц, пирит и эпидот. Часто встречаются также хлорит и цоизит, представляющие собой продукты изменения либо граната, либо диопсида; несколько разновидностей цеолитов с кальцитом представляют собой другую фазу гидротермального изменения породы. Такие измененные породы имеются на дневной поверхности в северо-западной части месторождения Сишоу, в Луньваньшан, в южном конце интрузии, и в Циньщуйтане, на восточном контакте с большим монцонитовым телом.

Главными рудными минералами здесь являются пирит, сфалерит, галенит, причем сфалерит обычно преобладает над галенитом. Эта черта особенно четко выражена в глубоких горизонтах, в которых в настоящее время производится разработка. Пирит встречается также на территории, расположенной к западу от Синьцзян, в Лухуень и Луньваньшань, где велись кустарные разработки специально для добычи этого минерала. Помимо трех только что упомянутых главных рудных минералов, в этой области встречаются также в небольших количествах теннантит, борнит, халькопирит, халькозин и ковеллин, перечисляемые здесь в порядке их кристаллизации.

На основании детального изучения ассоциации и структуры руд можно сделать вывод, что данное месторождение представляет собой в основном мезотермальное отложение из раствора, происшедшего из кварц-монцонитовой магмы. Стадия — от гидрометасоматической до гипотермальной с образованием мрамора, кварца, граната, диопсида и т. д. предшествовала эпохе рудообразования, а за ней следовали супергенная стадия с образованием халькозина и ковеллина и стадия окисления с образованием карбоната меди.



Фиг. 95. Геологические планы и разрез месторождения Шикоушань, провинция Хунань:

а — геологическая структурная карта Шикоушаня, округ Шаньинь, провинция Хунань, несколько измененные данные Менга, Хуаня, Лиу, Се и др.; *1* — аллювий; *2* — красная глина; *3* — третичный красный песчаник; *4* — юрские песчаники; *5* — пермские угленосные отложения; *6* — пермские известняки; *7* — карбонатные известняки; *8* — кварцевый монцонит; *9* — брекчии. *б* — продольный разрез рудника Шикоушань, на котором изображена форма тела; *в* — геологический план третьего горизонта рудника № 2 свинцово-цинкового месторождения Шикоушань. *1* — рудные тела; *2* — зона контакта; *3* — кварцевый монцонит; *4* — мраморизованный известняк.

Цзиньчуаньтан, округ Чеисян, южный Хунань в области Наньлин

Геология. Цзиньчуаньтан расположен к юго-востоку от города Чжэньсяня.

Цзиньчуаньтан представляет собой часть высокой горы в горном кряже Наньлин, образующем водораздел между водосборным бассейном реки Сянь и Северной реки в провинции Гуандун. Темносерый кремнистый известняк, повидимому, карбонового возраста, интрудирован огромным гранитным лакколитом; полагают, что интрузия произошла до третичной эпохи, но после пермской; вероятно, она совпала с третьим периодом иеншаньянских движений. В результате интрузии известняк падает в различных направлениях, что сильно усложняет структуру. Остаточные блоки известняка, погруженные в гранит или образующие в нем «заливы», встречаются в Хуаюань, Михюли, Шуйхули и Шичжуюань.

Рудные месторождения. Месторождение Цзиньчуаньтан интересно в том отношении, что оно содержит много различных видов руд, принадлежащих к нескольким типам. В нем добываются вольфрамит, марганцовая руда — псиломелан или пиролюзит, галенит, цинковая обманка, арсенопирит и пирит; последние четыре обычно находятся в известняке, примыкающем к интрузивному граниту. Здесь грубо намечается зональность месторождения.

В Шуйхули и Малаошане находится вольфрамовая руда. Она встречается в кварцевых жилах, реже также и в пегматитовом граните. Марганцовая руда имеется в Малаошане и Улейуингу. Свинцовые, цинковые, мышьяковые и серные руды встречаются совместно. Относительное содержание этих различных минералов колеблется не только от одного пункта к другому, но даже в отдельных частях одной и той же жилы. Рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, пиритом и арсенопиритом, с небольшой примесью халькопирита и висмутина. Кальцит является главным жильным минералом; он сопровождается небольшим количеством кварца. Высокотемпературные минералы совершенно отсутствуют. Месторождения встречаются чаще всего в виде вертикальных труб (столбов). Встречаются также и месторождения жильной формы. Как правило, месторождение богато свинцовой рудой в верхней своей части, а в нижней преобладают сфалерит и пирит. Эти изменения содержания металла по вертикали напоминают таковые в месторождении Шикоушань.

В месторождении Шикоушань в последние 70—80 лет добывались серебро и свинец.

Месторождения Шикоушань и Чайшань, на которых прежде добывался мышьяк, в настоящее время разрабатываются главным образом для добычи пирита.

Поисковые работы. При взгляде на карту обращает на себя внимание распространение останцов известняка в гранитовой массе, а также и линия контакта между гранитом и известняком. Детальное структурное исследование прольет некоторый свет на закономерности локализации этого специфического типа рудных труб.

Ляочашань, округ Цзыли, западная Хунань

Геология. Ляочашань расположен на северо-запад от города Цзыли.

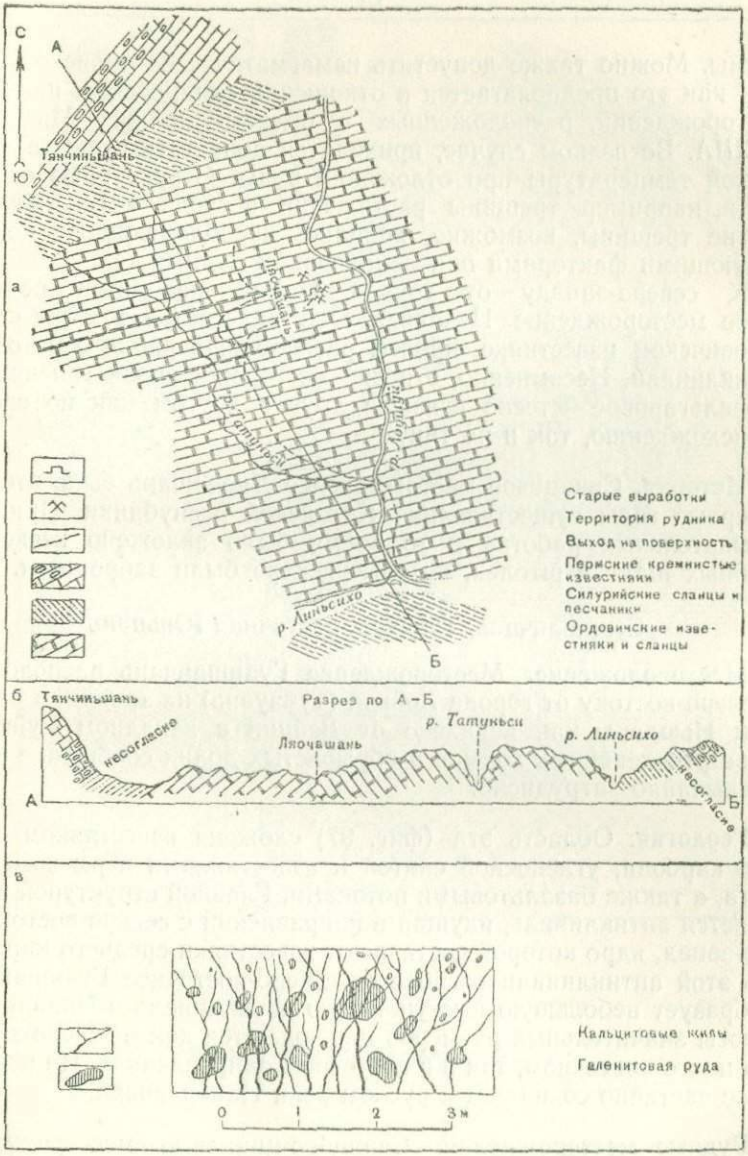
Месторождение Ляочашань образует идущую с северо-востока на юго-запад антиклиналь северо-восточнее простирания (фиг. 96), ядро которой составляет нижний ордовикский известняк Ичан. Это светлоголубой до сероватого цвета массивный, содержащий кремнезем известняк, общая мощность которого достигает приблизительно 400 *м*. Известняк Ичан покрывает известняк Айцзяшань и глинистый сланец мощностью 40—50 *м*, а также известняк Пагода мощностью 60 *м* (содержит *Orthoceras*) — тот и другой среднеордовикского возраста. Они перекрыты силурийскими сланцами, карбоновыми кварцитами и пермскими известняками. Характерной чертой этой области является отсутствие в ней изверженных пород.

Ляочашань представляет собой плато, возвышающееся на 400 *м* над долиной Лошуй. Оно глубоко расчленено рекой Лошуй и ее притоком Татунчи; по обе стороны русла реки наблюдаются вертикальные стенки и крутые обрывы. Пересеченный рельеф преобладает на уровне ниже 300 *м*, а выше на плато рельеф становится отлогим и мягким — равнинного типа, представляя резкий контраст с только что описанным.

Рудные месторождения. Руда залегает в виде гнезд или чечевицеобразных масс (фиг. 96) в известняке Ичан нижнего ордовика. Выходы на поверхность расположены вдоль антиклинали Ляочашань в виде зоны, идущей в широтном направлении. Повидимому, концентрация и размеры рудных тел зависят в большей или меньшей степени от способа образования кальцитовых жил. Иными словами, чем больше число пересекающихся жил и чем они сложнее, тем больше размеры рудных тел и тем выше концентрация руды.

Главный рудный минерал здесь галенит, единственный жильный минерал — кальцит. Сфалерит, пирит, халькопирит и др. встречаются редко, а иногда и вовсе отсутствуют.

Трудно точно определить происхождение месторождения, поскольку поблизости здесь нет изверженных пород. Полагают, что где-то недалеко должна быть погребенная интрузия и что руда была отложена остаточным горячим раствором, происшедшим из



Фиг. 96. Схематическая геологическая карта и разрез рудника Ляочашань, провинция Хунань:

а—геологическая схема Ляочашанского галенитового месторождения, Чжуэли, Хунань (по Ц. Тиену); *б*—разрез по *АБ*; *в*—месторождения галенитовой руды в Ляочашане.

магмы. Можно также допустить немагматическое происхождение руд, как это предполагается в отношении свинцовых и цинковых месторождений, расположенных в области долины Миссисипи в США. Во всяком случае, приходится допустить существование низкой температуры при отложении руды. Структурные особенности, например трещины растяжения в своде антиклинали и другие трещины, возможно, являлись преобладающими контролирующими факторами при локализации рудных тел.

К северо-западу от города Цзыли находится реальгаровое месторождение Цзяпайю. Оно залегает в том же самом ордовикском известняке, причем расположено вдоль оси той же антиклинали. Несомненно, эти два месторождения — галенитовое и реальгаровое — тесно связаны друг с другом как по своему происхождению, так и по типу.

История. Свинцовое месторождение Ляочашань было открыто в первые годы существования Китайской республики. При разведывательных работах в то время было заложено несколько пробных шахт и штолен, которые вскоре были заброшены.

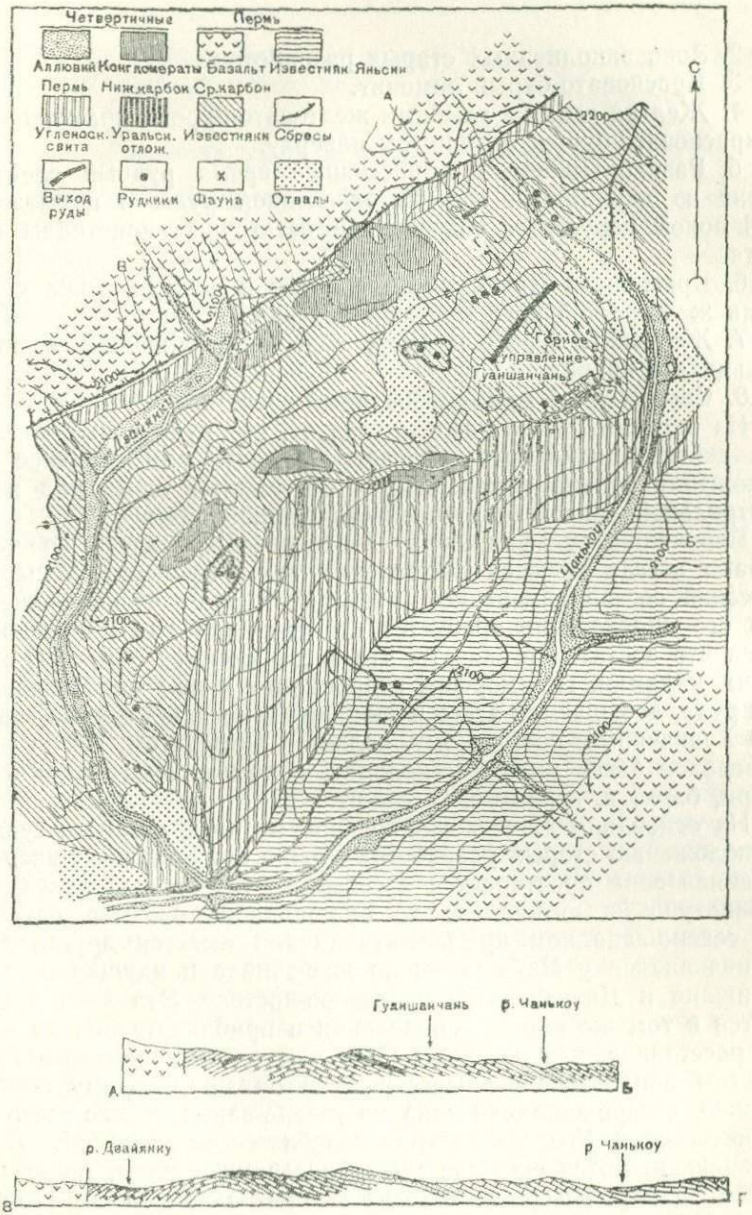
Гуаншанчань, Тунчуан, восточная Юньнань

Местоположение. Месторождение Гуаншанчань расположено к северо-востоку от города Хойцзя (Тунчуань) на западном берегу реки Ньюланьцзян, недалеко от Вейнин в западном Гуйчжоу. Из-за расчлененных холмов и обрывистых долин сообщение здесь чрезвычайно затруднено.

Геология. Область эта (фиг. 97) сложена известняком среднего карбона, угленосной свитой и известняками пермского возраста, а также базальтовыми потоками. Главной структурой здесь является антиклиналь, идущая в направлении с северо-востока на юго-запад, ядро которой составляют известняки среднего карбона. Ось этой антиклинали изгибается северо-восточнее Гуаншанчань и образует небольшую выступающую антиклиналь в Чилиньчань. Сбросы значительных размеров наблюдаются как в северо-западном и юго-восточном, так и в восточном направлениях. На востоке сброс частично совпадает с руслом реки Наньланцзян.

Рудные месторождения. Свинцово-цинковые месторождения образуют линзы замещения или слои в известняке среднего карбона, причем, как правило, они залегают почти параллельно плоскости его напластования. В Вестинтунь в минерализованной зоне наблюдается следующая стратиграфическая последовательность (в восходящем порядке):

1. Желтовато-бурый мрамор, содержащий железо и жилки кальцита и кварца.



Фиг. 97. Геологическая карта и разрезы Гуаншанчаня, провинция Юньнань.

2. Зона заполненных старых разработок.
3. Красновато-бурый лимонит.
4. Желтая глина с глыбами желтовато-бурого мрамора внизу и красновато-бурым лимонитом наверху.
5. Разрабатываемый в настоящее время рудный слой; состоит из двух слоев желтой окисленной руды с промежуточной зоной церуссита, содержащей остаточные кристаллы галенита.
6. Красновато-бурый лимонит внизу и желтая глина с глыбами желтовато-бурого мрамора наверху.
7. Желтовато-бурый мрамор, содержащий железо и жилки кальцита и кварца.
8. Светлобурый мраморизованный известняк.

Из описания этого разреза следует, что руда испытала сильное действие окисления; бросается в глаза симметричное расположение сильно измененных и окисленных слоев над и под центральной линзой остаточной сульфидной руды.

Первичная сульфидная руда встречается здесь не часто, однако всегда имеются как галенит, так и сфалерит. Минералогический состав измененной, окисленной руды очень сложен, и для его определения требуется исследование под микроскопом. Пока что достаточно сказать, что здесь имеются церуссит, смитсонит, каламин, гемиморфит, гидроцинцит и др.; желтая свинцовая руда, добываемая здесь в изобилии и носящая местное название Хуаньчяоми, повидимому, является англезитом. Из жильных минералов здесь имеются: кальцит, доломит, гематит, лимонит, кварц, барит и, вероятно, каолинит.

На основании данных наблюдений на поверхности и судя по расположению старых разработок можно принять, что минерализованная зона простирается в северо-восточном направлении от Везиньтунь на юго-западе до Гуаншанчань на северо-востоке. На северо-западном крыле антиклинали имеется другая зона, начинающаяся у Цайюанцзы на юго-западе и идущая до Пайкуаншаня и Датуаньшаня на северо-востоке. Эта зона простирается в том же самом направлении и приблизительно на такое же расстояние, как и первая. Обе зоны почти параллельны плоскостям напластования известняка и падают поэтому соответственно, северо-западная зона на северо-запад, а юго-восточная на юго-восток. Угол их падения колеблется от 25 до 30°. В Чилиньчань имеются еще две минерализованные зоны, простирающиеся с северо-северо-востока на юго-юго-запад. Здесь угол падения больше и достигает 70°.

Это месторождение разрабатывалось со времени последнего царствования династии Минь. Старые разработки в Датуаньшане, Пайкуаншане и др., вероятно, были начаты в виде открытых карьеров, которые затем сменились подземными выработками.

По сообщению одного старого шахтера прежние разработки, за исключением Пайкуаншаня, велись наклонными шахтами.

Ломачань, Лутянь, восточная Юньнань

История. Месторождение Ломачань разрабатывалось, начиная с седьмого года царствования Цзяньлун династии Цин (1742). Максимальных размеров добыча достигла в 41—42 гг. (1776—1777). Работы возобновились в 17—18 гг. царствования Гуан Сюй, но уже в значительно меньших масштабах. За последние годы это месторождение только однажды — в 1941 г. — разрабатывалось серебряно-свинцово-цинковым управлением Yunnan Enterprise Bureau, но было снова заброшено.

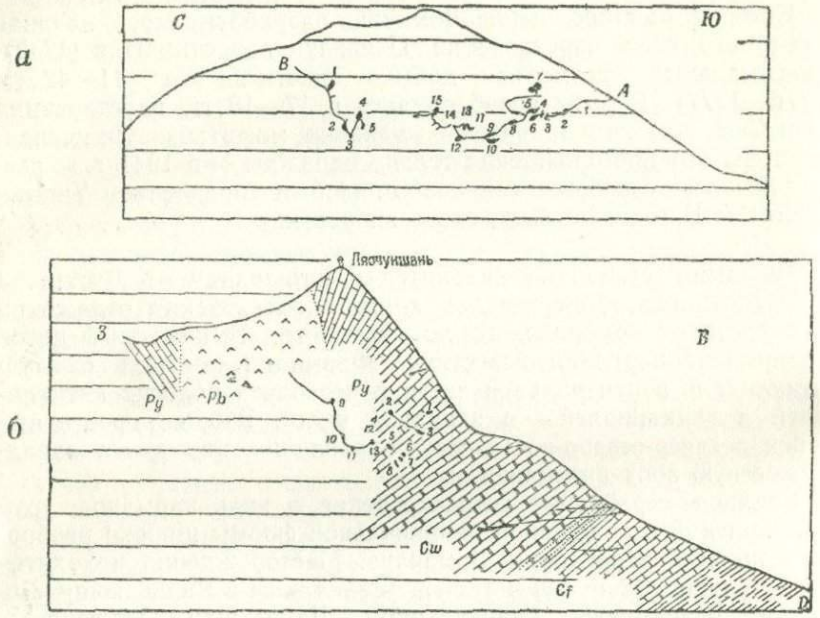
Геология. Ломачань находится к юго-западу от Лутянь. Область слагается мощной свитой палеозойских отложений в возрасте от кембрийского до пермского. Базальтовый поток перекрывает пермский известняк. Формации смяты в сжатую антиклиналь в центральной части и несколько пологих антиклиналей и синклиналей — в западной части. Взброс, простирающийся в север-северо-восточном направлении, пересекает западную осевую зону антиклинали.

Свинцово-серебряные месторождения в виде карманов, труб и вкраплений и замещений неправильной формы широко разбросаны на всей территории Ломачань. Месторождения находятся в Лаочуншань (фиг. 98) и Тафушань, а также в Ваньцзяошу, Лотантун. Шацзычань, Гуаньиньшан, Лайцзушан, Хайцзявань, Иньгоцуй. Шоупаянь и др., к западу от реки Лунцзихэ. За исключением Йинкотсю, где коренными породами являются кембрийские сланцы и филлиты, все остальные месторождения залегают чаще всего в пермском известняке и реже в карбоновом и ордовическом известняках. Кроме месторождений Ваньцзяошу, Лотантун, Иньгоцуй и др., все остальные месторождения расположены к западу от линии большого взброса.

Руда состоит главным образом из галенита с небольшой примесью сфалерита и пирита. Тетраэдрит встречается в Ваньяошу; во многих местах наблюдается окисленная зона, характеризующаяся присутствием церуссита, лимонита, гематита, пиролюзита, малахита и азурита. Жильные минералы представлены главным образом кальцитом и доломитом с незначительной примесью сидерита, барита и джаспероида. Характерно здесь полное отсутствие высокотемпературных минералов, так что описываемые месторождения должны быть отнесены к мезотермальному и до эпитермального типа.

Месторождение Ляочуншань наиболее благоприятным образом расположенное по отношению к базальтовой интрузии и вмещаю-

щей известняковой породе, в прошлом эксплоатировалось. Здесь имеются старые штольни и наклонные шахты, в том числе старые шахты Тяньсытун и Даюйтун наиболее известные своими обширными подземными разработками; они доступны еще и в на-



Фиг. 98. Разрезы через рудные тела Лаочуншань, Восточная Юньнань:

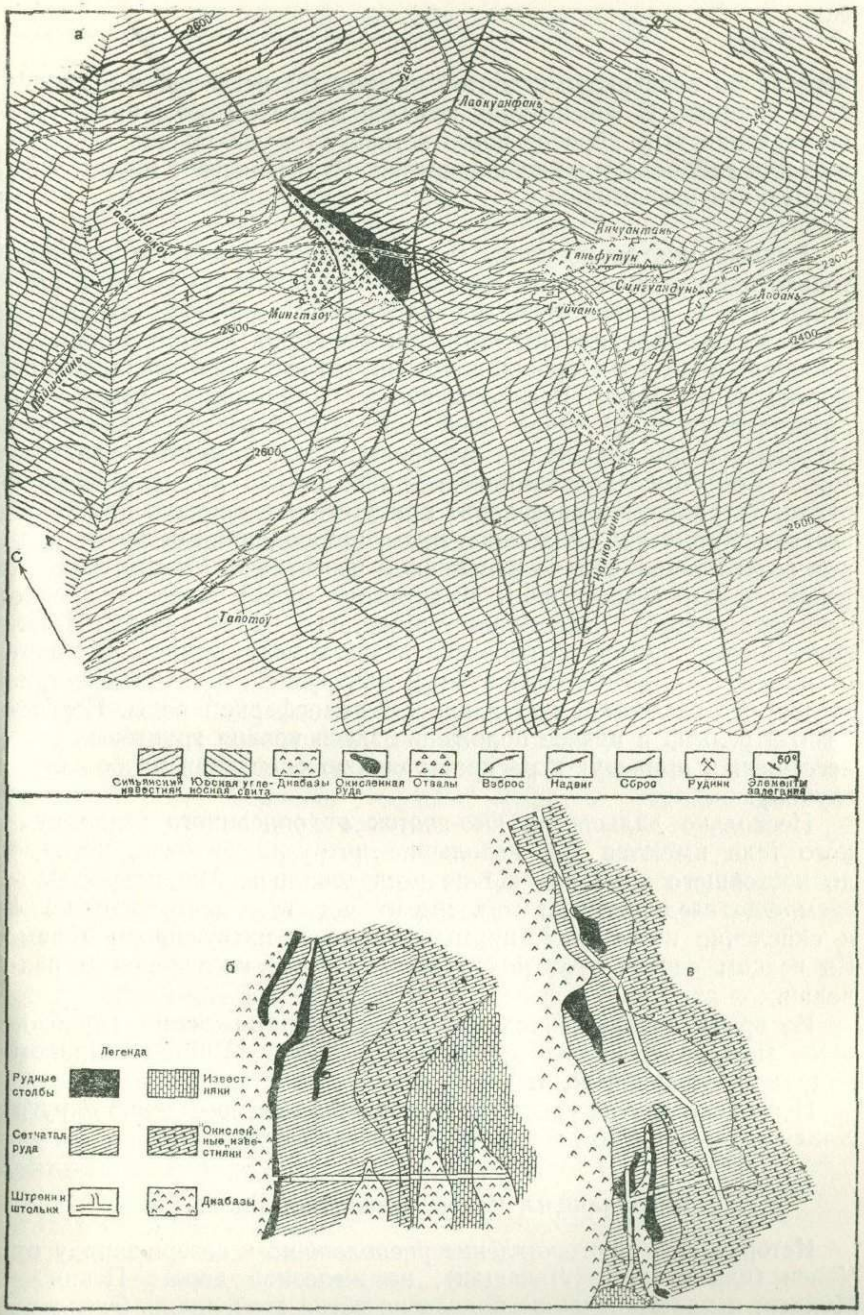
а—продольный разрез через рудные тела Лаучуншаня. *А*—„наотунги", или карманы, у Тянцзяцутун, *1*—Пайхва, *2*—Тапушан, *3*—Нюйбедзу, *4*—Шуи, *5*—Као, *6*—Чоу, *7*—Хуандзя, *8*—Тапушан, 9—Тачучуан, *10*—Сяочучуан, *11*—Сяочаншу, *12*—Юаньдзя, *13*—Хуандзя, *14*—Иваньшуй, *15*—Гоаньфан. *В*—„наотунги", или карманы, у Даюйтуня, *2*—Та, *3*—Пайцзя, *4*—Хуандзя, *б*—поперечный разрез Лаочуншаня, показывающий различные карманы руды. *Д*—Девонские кварциты, песчаники и глинистые сланцы: *Cf*—нижняя каменноугольная свита, *Cw*—среднекаменноугольный Вейнингский известняк, *Ру*—нижнепермский Яньсиньский известняк, *Pb*—пермский базальт.

стоящее время. Руды Лаочуншань в основном залегают в первичной зоне и практически не носят признаков окисления или вторичного обогащения.

Тяньбаошань, Хойли, провинция Сикан

Геология. Месторождение Тяньбаошань расположено к северу от города Хойли.

Месторождение Тяньбаошань (фиг. 99) и его окрестности сложены синьянскими (прежде считавшимися триасовыми или пермо-карбоновыми) кремнистыми известняками, на северо-западе



Фиг. 99. Геологическая карта (*а*), разрез (*б*) и план 30 *м* горизонта (*в*) свинцово-цинкового месторождения Тьепаошань, Хюфли, Сикан. (По Куо.)

несогласно перекрытыми свитой юрских (?) песчаников и глинистых сланцев. В известняках имеется много сбросов, причем на пересечении этих сбросов часто встречаются небольшие диабазовые или габбровые дайки или штоки. Руда залегает на контакте интрузии и известняков.

Рудные месторождения. До настоящего времени известно только одно рудное тело. Оно имеет неправильную форму и простирается в основном в меридиональном направлении, почти параллельно направлению интрузии (фиг. 99). В этой минерализованной зоне со стороны интрузии встречаются неправильной формы линзы руды. Все добываемые в настоящее время руды представляют собой окисленный смитсонит, вероятно, с примесью церуссита и пр. Первичные сульфиды, представленные сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пиритом и др., встречаются редко. Тетраэдрит и саффлорит присутствуют в небольших количествах. Кроме линз сплошной руды, наблюдаются сетчатые рудные зоны в очень сильно измененном известняке. Между свежим, неизмененным известняком и сетчатой рудой имеется обычно слой окисленного [1] известняка мощностью 5—20 *м* и более. Изменение было, видимо, обусловлено вначале гидротермальным действием и растворами, связанными с интрузией, а затем выветриванием и окислением под влиянием атмосферной воды. Пересеченный рельеф и низкое положение здесь уровня грунтовых вод, несомненно, приведут к распространению окисления на большую глубину.

Несколько дальше на юго-восток от описанного выше рудного тела имеются три небольшие интрузии диабаза, которые до настоящего времени еще не исследовались. Мы не располагаем еще сведениями о том, имеют ли тут место изменение и окисление известняка, примыкающего к интрузивным телам. Во всяком случае этот район должен быть исследован и разведан.

Во время войны цинково-свинцовые месторождения Тяньбаошань эксплоатировались управлением Sikang Mining, филиалом компании Северной ж. д.

Несколько других свинцово-серебряных месторождений округа Хойли залегают в той же самой Синийской формации.

Янцзячанцзы, Чэнси, провинция Ляонин

История. Это месторождение расположено к северо-западу от Чэнси (или станции Ляньшан), на железной дороге Пекин — Мукден; к месторождению подведена ветка этой линии. Эксплоа-

[1] Не ясно, что понимает автор под «окислением» известняка. (*Прим. ред.*)

тировать это месторождение начали китайцы много лет назад, а японцы продолжали разработки с 1935 г.

Геология. В геологическом отношении область сложена синьянскими кремнистыми известняками, кембрийско-ордовичскими известняками (известняки с червями и оолитовые) и глинистыми сланцами, пермо-карбоновыми песчаниками, глинистыми сланцами, известняками и конгломератами и пермо-триасовыми конгломератами, крупнозернистыми песчаниками и различными глинисто-сланцево-песчаниковыми свитами. Главными структурами являются синклиналь на юге и антиклиналь на севере; обе структуры простираются в широтном направлении в восточной и центральной частях области. Далее к западу ось постепенно отклоняется и идет в меридиональном направлении. Мезозойские пласты занимают центр синклинали, а кембрийско-ордовичские и синийские образуют оба ее крыла. Северное крыло синклинали имеет несколько больший угол падения, чем южное. Эта свита интрудирована гранитом и кварцевым монцонитом; первый выходит на поверхность в северо-восточной, а последний — в западной части области. Кроме того, здесь имеется очень много даек — гранит-порфировых, аплитовых и порфиритовых. Гранит здесь либо крупнозернистый до порфировидного, либо мелкозернистый; обе разновидности отличаются мясо-розовым цветом. Это материнская порода, из которой, вероятно, произошли рудообразующие растворы. После интрузии имела место дислокация с образованием ряда сбросов, идущих либо в меридиональном направлении, либо северо-восточнее 70°.

Рудные месторождения. Здесь наблюдаются различные типы рудных месторождений, причем все они находятся в генетической связи с гранитовой интрузией.

Во-первых, имеется магнетит-халькопиритовые руды, залегающие в синьянском известняке недалеко от контакта с гранитом. Сопутствующими минералами в них являются серпентин и мусковит.

Во-вторых, здесь имеются молибденит-пирротино-халькопиритовые жилы пирометасоматического происхождения, расположенные на контакте кембрийско-ордовичского известняка с гранитом. Контакт характеризуется хорошо развитой гранатовой зоной, в которой встречаются также диопсид, эпидот, мусковит и гипс.

Наконец, третий тип составляют свинцово-цинковые отложения мезотермального происхождения. Этот тип проявлен в кембрийско-ордовичском известняке, где образуются неправильной формы массы, карманы или трубы. Руда слагается галенитом, сфалеритом, пиритом и халькопиритом с прожилками (*gangues*) кальцита и гипса.

Цзичэнцзы, Фынчэн, провинция Ляонин

Местоположение. Месторождение Цзичэнцзы расположено к западу от г. Туньйанпо. Оба эти города находятся на железной дороге Мукден — Андунь. Это одно из наиболее известных рудных месторождений в Маньчжурии; в нем добываются свинец и цинк уже в течение ряда лет.

Геология и рудные месторождения. Эта рудоносная формация представляет собой чередование известняков и слюдяных сланцев докембрийского возраста. Она интрудирована меридиональными дайками гранит-порфира. Известняк, как правило, простирается широтно и падает под углом 40—50° на север. Рудные отложения представляют собой жилы, заполняющие трещины главным образом в известняке и реже в сланце и гранит-порфире. Имеются четыре главные жилы, простирающиеся в меридиональном или в север-северо-восточном направлении и круто падающие на запад под углом 70—80°.

Тяньбаошань, Яньцзы, провинция Гирин

Местоположение. Месторождение расположено на восточной границе провинции Гирин к северо-западу от станции Лаотоугоу на читеньской железной дороге. Район сложен палеозойскими известняками серой до темносерой окраски, переслаивающимися с несколькими горизонтами песчаников и глинистых сланцев. Формация простирается на северо-восток 10° и падает на юго-восток под углом 40°. Бóльшая часть территории занята интрузией роговообманковых гранитов, обусловливающей ясно выраженный контактовый метаморфизм в известняке. Месторождение находится на контакте (или недалеко от него) известняка и гранита. Оно имеет вид неправильной крутопадающей жилы. Граница между рудой и коренной породой большей частью не бывает резко выраженной. Рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, аргентитом и халькопиритом, с жилами кварца и кальцита.

Выводы в отношении геологии, генезиса и парагенезиса

Геологические условия. Месторождения свинца, цинка и серебра в Китае встречаются в формациях от древнепалеозойского до мелового возраста. Месторождения в горной цепи Сеньялинь — Уишань в Цзянси, Чжэцзян и Аньхое и месторождение Тяньбаошань в Хойли, Сикань, равно как и некоторые месторождения в центральной Юньнани и северо-восточном Китае залегают в филлитах и кристаллических известняках; их относили то

к додевонскому, то к синьянскому периоду. Предполагали, что рудоносная формация в Чжуцзи, Чжэцзян, относится к доордовичскому периоду. Месторождение Ляоцзяшань в Цзыли, западная Юньнань, находится в нижнеордовичском известняке, тогда как в округах Юаньнин и Майян в западной Юньнани, свицовые руды залегают в столь молодых отложениях, какими являются меловые красноцветные толщи.

Однако огромное большинство свинцовых и цинковых месторождений в Китае находится в известняках пермского и карбонового возраста, как, например, месторождение Шикоушань в центральной Юньнани, месторождение Гуаншанчань в северной Юньнани и др.

Рудные тела отличаются обычно крайне неправильной формой. Они встречаются в виде различных жилок, линз, слоев, труб, карманов, камер или тел замещения неправильной формы.

Генезис. Большая часть свинцовых и цинковых месторождений Китая генетически связана с какими-нибудь изверженными породами, интрузивными или экструзивными. Они относятся в основном к двум типам: кислому (гранит, диорит, кварцевый монцонит, кварцевый порфир и риолит) и основному (базальт, диабаз и габбро) [1].

В прибрежных областях Фуцзян и Чжецзян имеется ряд месторождений, залегающих в риолите или на контакте между риолитом и гранитом. Большей частью это эпитермальные месторождения, ассоциированные с флюоритом.

В области Сеньалинь — Уишань месторождения связаны с несколькими небольшими интрузивными телами кварцевого порфира, которые, как полагают, представляют собой апофизы главного гранитного массива, образующего ядро горы. Минеральная ассоциация состоит из спекулярита, церуссита, барита, эпидота и кварца. Это указывает на эпитермальный тип данного отложения.

Месторождения центральной Хунани — Шикоушань, Янчженчунь и др. — генетически связаны с кварцевым монцонитом или с гранитом. Руды залегают либо в пермском известняке, либо в додевонском филлите (вероятно, синьянском) и, как правило, находятся недалеко от контакта с интрузией. В Шикоушань контактовая метасоматическая стадия с образованием граната и диопсида и др. предшествовала рудообразованию; последнее является преимущественно мезотермальным.

В области Наньлин в южном Хунани, южном Цзянси и северном Гуандуне месторождения характеризуются ассоциацией

[1] Непонятно, почему эту чисто пространственную приуроченность к контактам автор принимает за генетическую связь. (*Прим. ред.*)

доломит, джаспероид, барит, гематит, лимонит и, вероятно, каолинит. Состав рудных минералов характеризуется преобладанием галенита над сфалеритом и пиритом. Во многих местах имеется глубоко залегающая зона окисления.

Наконец, имеются месторождения, вроде месторождения Ляочашань в Цзыли, западная Хунань, где нет никаких изверженных пород. Руды состоят главным образом из галенита. Жильные минералы — кальцит и кварц. Этот тип месторождений представляет собой, вероятно, результат отложения из грунтовых вод невулканического происхождения [1].

Парагенезис. Минеральные ассоциации и порядок выделения минералов в различных свинцовых и цинковых месторождениях Китая до настоящего времени пока еще подробно не исследовались. Как правило, мезотермальные типы характеризуются такими жильными минералами, как кварц, кальцит, цоизит, хлорит и пр. Иногда встречается также флюорит.

Пирометасоматическая фаза, встречающаяся в некоторых местах, предшествовала рудообразованию. Кроме галенита, сфалерита и пирита, здесь часто встречаются в небольших количествах в качестве второстепенных минералов халькопирит, борнит, теннантит, тетраэдрит и др. В месторождениях области Нанлинь часто присутствуют арсенопирит, а иногда висмутин. Пирит и сфалерит обычно более обильны, чем галенит, причем содержание последнего с глубиной падает.

В эпитермальных месторождениях, связанных с пермскими базальтами и сопутствующими им породами, галенит обычно содержится в большем количестве, нежели сфалерит, и часто обогащен серебром. Пирит большей частью редок, а жильные массы слагаются джаспероидом, баритом, кальцитом, каолином, лимонитом и т. д.

Минеральные ассоциации менее сложны в месторождениях немагматического цикла. В этом типе галенит (также сильно серебристый) является главным рудным минералом. Кальцит и в небольшом количестве барит являются почти единственными жильными минералами.

В благоприятных топографических и гидрографических условиях все типы месторождений могут быть экстенсивно окислены с образованием смитсонита, церуссита, англезита и т. д. Эта зона окисления может распространяться до глубины 150 *м* или более. Процессы вторичного обогащения на такой глубине не наблюдались.

Подводя итоги всему вышесказанному, месторождения свинца, цинка и серебра в Китае можно расчленить на следующие типы:

[1] Поверхностное образование галенитовых месторождений из грунтовых вод пока не доказано. (*Прим. ред.*)

I. Мезотермальные месторождения, относящиеся к яньшаньянскому циклу и интрузиям или экструзиям кислых изверженных пород. Сфалерит более обилен, чем галенит. В области Наньлин, где температура рудообразования была, повидимому, более высокой, присутствуют арсенопирит и висмутин. Из жильных минералов характерен флюорит, особенно обильный в юго-восточной прибрежной области.

II. Эпитермальные месторождения, относящиеся к герцинскому циклу и связанные с интрузиями или экструзиями основных изверженных пород. Галенит, часто богатый серебром, обычно более обилен, чем сфалерит. Характерными жильными минералами являются кальций, барит, джаспероид и, возможно, каолин. Некоторые месторождения в центральной Юньнани и южном Сикане иногда рассматривались как дояньшаньянские.

III. Месторождения немагматического происхождения. Серебристый галенит и кальцит с небольшим количеством барита.

УКАЗАТЕЛЬ
НАЗВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Абакалики, Нигерия, 340—347
Абасоло, Мексика 198
Агилар, Аргентина 40
Агуас Калиентес, Перу 289, 290
Айвенго, США 160, 166
Айикума, Нигерия 346
Айн Алега, Тунис 370—375, 377
Айокеско, Мексика 198
Айопуско, Мексика 198
Айюба, США 190
Акана, Нигерия 345—346
Акатан, Мексика 198
Аква Бона, Сардиния 408
Аккерселет, Швеция 563
Акуитапилко, Мексика 198
Аламеда, Мексика 199
Алпорт, Англия 550
Альбаррада, Мексика 198
Альбаррадас, Мексика 199
Альва, Нигерия 346
Альтенберг, Германия 48
Амакули, Мексика 214
Аматлан, Мексика 198
Амека, Нигерия 345—351
Амери, Нигерия 345, 346
Анангео, Мексика 198, 207, 214, 221
Антликстас, Мексика 228, 241
Анфу, Китай 588
Анхелес, Мексика 199
Арафу, Нигерия 345, 346
Арборезе, Сардиния 401, 412, 417, 418
Арбуз, Сардиния 401, 412, 417, 418
Арвидзьяур, Швеция 558, 563
Арджентайн, США 144
Арджентьерра делла Нурра, Сардиния 397, 402
Аренас, Сардиния 411
Артеага, Мексика 198
Асьенда Эстансья, Мексика 197
Асьентос, Мексика 197
Атакоча, Перу 244, 245
Атархеа, Мексика 197
Атлас, США 144
Атолинга, Мексика 199
Ауакатлан, Мексика 199
Ауихульо, Мексика 223
Аули, Марокко 353
Аустинвил, США 32
Ахихик, Мексика 197
Бабиканора, Мексика 199
Бабилония, Мексика 226, 227, 231—241
Бакуабис, Сардиния 399
Балмат, США 145
Бальеса, Мексика 196, 197
Банкер Хилл, США 144, 145
Баройека, Мексика 199, 223
Барранка дель Оро, Мексика 198
Барранкас, Мексика 199
Батеа, Мексика 199
Баярд, США 155, 159, 160, 163, 172, 174
Беллвиксберг, Швеция 567, 570
Берналь, Мексика 199
Бешайд, Германия 517
Бешатёр, Тунис 376
Биг-Баг, США 36
Биджеру, Сардиния 401, 405
Бильбао, Мексика 197, 202, 205
Бингэм, США 14, 16, 34, 147—153
Бисби, США 34
Блейальф, Германия 517—520
Блейберг, Австрия 18
Блэк Бэр, США 144
— Рок, Австралия 311, 312, 314, 320—322
— Стар, Австралия 311—314, 320—322
— Хаук, США 160
Бежа, Португалия 390, 391
Бейра Байша, Португалия 384, 388
Бени, Мексика 198
Болиден, Швеция 15, 562—565
Бонанса, Мексика 197
Бочанс, Ньюфаундленд 17, 30
Брасал, Португалия 383, 384, 385
Брассеу, Сардиния 418
Бристоль, США 181, 185, 186, 188
Брокен Хилл, Австралия 3, 15, 42, 294—306
— — Северная Родезия 44
Бу Беккер (см. Туиссит-Бу Беккер)
Будо, Япония 54
Букарели, Мексика 199
Булл Фрог, США 160, 172
Буэнависта, Мексика 197
Бытом, Польша 486, 487, 489, 491—496

Бэдвин, Бирма 17, 52
Бьюрлиден, Швеция 563
Бьюртреск, Швеция 563
Бьюрфорс, Швеция 563
Бьютт, США 36

Вазе, Нигерия 345, 346
Валье дель Браво, Мексика 198
Варзела де Тревойс, Португалия 387
Вейнин, Китай 589
Веларденья, Мексика 198, 209, 214
Веньшан, Китай 588
Верхне-Миссисипские месторождения США 32, 98—110, 140
Верхнесилезские месторождения, Польша 18, 48, 486—496
Вестерфельд, Германия 500, 501
Вета Гранде, Мексика 199, 209, 210
Видусик, Югославия 454
Виктория, Мексика 204
Вилла Кова, Португалия 387
— Поука де Агиар, Португалия 388
— Реал, Португалия 384, 387, 388
Вильденгранзеле, Швеция 565
Вилькошин — Тшебиния, Польша 486—492
Вилья Альдама, Мексика 199
Вильягран, Мексика 199
Винчос, Перу 42, 244
Виргиния, Германия 500—502, 504
Витвасерсранд, Трансвааль 499
Вольфрамовая жила Мпанды, Танганьика 338
Восточно-теннесийские месторождения, США 32, 112—123
Восточный Силвер Белт, США 144
— Хёгкулла, Швеция 563, 565
Вульфенитовая жила, Марокко 357, 358
Вэйт-Амулет, Канада 30
Вьеска, Мексика 198

Галеана, Мексика 197
Галена, США 144
Галлура, Сардиния 402
Гальега, Мексика 202
Гановер, США 156, 169, 161, 164, 166—169, 172, 174
Гановер Фьерро, США 155, 156, 159—163, 166, 168
Гарпенберг, Швеция 52, 572, 573, 575—578, 586
Гарсия Мендоса, Боливия 40
Гвадалупе, Мексика 197
Гвапалайна, Мексика 197
Геркулес, США 144
Гиенагате, Мексика 198
Гипотек, США 144
Голд Хантер, США 144
Голконда, США 144
Гольден Маунтин, Канада 30
Граунд Хог, США 155, 160, 166, 172
Грейтон Дэль, Англия 551, 557
Гродзиско, Польша 529, 530
Гронг, Норвегия 572
Грунд, Германия 48
Грэхэм-Гинте Майн, США 103, 105, 106
Гуанфын, Китай 588
Гуаншанчань, Китай 587, 589, 598—601, 607
Гудзян, Китай 588
Гуракоба, Мексика 197
Гуте Хоффнун, Германия 498, 501, 507, 515
Гуттуру С'Оржиу, Сардиния 396
Гэйцзю, Китай 588

Данцзи, Китай 588
Даоцзювэнь, Китай 591
Деламар, США 177
Денвер, США 144
Дербишир, Англия 543—546
Десморнадо, Мексика 197
Джалта, Тунис 373, 375, 377
Джебель Загуан, Тунис 375, 377
— Ресас, Тунис 374—378
— Семен, Тунис 373—375
— Халлуф, Тунис 373, 375, 377, 378
Джек Раббит, США 181
Дженнамаре, Сардиния 397, 412, 416
Джефферсон Сити, США 116, 119, 121, 122
Джильмэн, США 139
Джоплин, США 83, 88, 91, 94
Джорджтаун, США 170
Джэм, США 144
— Стэйт, США 144
Дзунхуа, Китай 589
Доктор, Мексика 199
Доктор Арройо, Мексика 198
Долорес, Мексика 198
Дос Мариас, Мексика 197
Дунжэнь, Китай 589
Дуро, Португалия 384, 386, 387
Дурхэм, Англия 521, 534—538
Дэй Рок, США 144
Дэсин, Китай 588, 591, 592

Жердаде де Вилла Рукка, Португалия 390

Зангерхаузен, Германия 524, 525, 526
Здетова, Югославия 454
Зурак, Нигерия 345—348, 350, 351

Ибинди, Танганьика 333, 338
Иглезиас, Сардиния 393, 396, 397
Иглезиенте, Сардиния 401, 404, 407, 409, 411
Игуана, Мексика 198
Идальго Ойос, Мексика 199
Иеска, Мексика 198
Икуно, Япония 54
Инан, Китай 589
Ингуртоза, Сардиния 393, 406, 408, 411, 415, 416, 426
Интерстэйт, США 144
Иормльен, Швеция 571
Иофиеллет, Швеция 571
Ихтапан дель Оро, Мексика 198

Кабрера, Мексика 198
Кавельторп, Швеция 573, 575, 580, 581
Казимба, Танганьика 336
Каима — Вуга, Португалия 383—386
Каллер Штоллен, Германия 499, 505—510, 518, 519
Кальвбекен, Швеция 572, 579, 580
Кальмуттер, Германия 500—504, 507, 517, 520
Камиока, Япония 54
Кампечана, Мексика 197
Кампо Пизано, Сардиния 400, 411
Кандаменья, Мексика 197
Капут Аквус, Сардиния 399
Карауакра, Перу 40, 244, 245, 282, 284, 286
Карвальян, Португалия 385
Карданаль, Мексика 197
Касамота, Мексика 198
Касапалка, Перу 17, 42, 242—246, 286—293
Касаржу, Сардиния 418, 424
Касас Грандес, Мексика 209
Кассандра, Греция 479
Кастелу Бранку, Португалия 388
— де Пайва, Португалия 386
Кастровиррейна, Перу 244
Катанга, Бельгийское Конго 44
Катинка, Перу 274, 276, 281
Каудор, Англия 548
Квемонт, Канада 30
Келлог, США 144
Кендтреск, Швеция 563
Кентукки, США 17, 32, 98
Кёр д'Аллен, США 17, 32, 141—146
Керней, США 160
Керокауик, Мексика 197
Кжешовице, Польша 487—493
Кингспорт, США 113, 115, 119, 121, 122
Кинтанилья, Португалия 389
Кирка, Греция 478, 479, 482
Коатлан, Мексика, 198
Коаюка, Мексика 199
Коимбра, Португалия 384, 388, 389
Кокер Майн, США 101—103, 106
Колкихирка, Перу 244, 245
Колорадо, Мексика 207
Коммерн, Германия 18
Компостелла, Мексика 198
Конститьюшен, США 144
Копала, Мексика 199
Копаоник, Югославия 454
Коппер Ридж, США 113—116, 119, 121, 122
— Флэт, США 155, 156, 158—167, 174
Коронадо, Мексика 197
Корралитос, Мексика 197
Косо, США 144
Кост Рэйк, Англия 557
Кристинеберг, Швеция 562—566
Куале, Мексика 197
Куатра Сьенегас, Мексика 198
Кульмине, Сардиния 399
Кучильо Парадо, Мексика 209, 211, 212
Кюстер, США 144

Лаврион, Греция 48, 477—485
Лайсвалл, Швеция 18, 50, 563, 567—571
Лаки Билл, США 144
— Стар, США 186
Ла Бланка, Мексика 199
Ла Конча, Мексика 228, 235, 241
Лалопа, Мексика 198
Ла Монтанья, Мексика 202
Ла Мула, Мексика 198
Ла Огуэла, Мексика 200, 206, 208, 209, 211, 212, 214, 215
Ла Оройя, Перу 252, 253, 266, 269, 270
Лаочуншань, Китай 587
Ларго Фонтано, Аргентина 40
Лас Кинтуплес, Мексика 239
Лас Колорадос, Мексика 214
Ласт Чанс, США, кер д'Ален 144
— — — Юта 148, 151
Лачатао, Мексика 198
Лачигури, Мексика 198, 223
Лёвозен, Швеция 572, 580
Ледвилл, США 36, 139
Леон, Мексика 197
Лещины, Польша 529—531
Либерал Кинг, США 144
Лидер, Танганьика 337, 339
Линсян, Китай 588

Линхай, Китай 588
Линьгуй, Китай 588
Ломачань, Китай 601, 602
Ломо де Торо, Мексика 208
Лонгдаль, Швеция 563, 565
Лос Ламентос, Мексика 197, 200, 211, 215
Лула — Торпе, Сардиния 406
Луншаньшу, Китай 589
Луншэн, Китай 588
Лутянь, Китай 601, 602
Лэйк Джордж, Австралия 44
Льюснарберг, Швеция 572, 573, 580
Ляоцзяншань, Китай 587
Ляочаншань, Китай 596—598

Магамба, Танганьика 333, 337
Мак Дональд, Канада 30
Малакальзета, Сардиния 394
Молонезет, Швеция 563
Мальяда, Португалия 383—385
Мансфельд, Германия 521—527, 529, 532, 539, 540, 542
Мапими, Мексика 197
Маравилья, Боливия 40
Маркон, Сардиния 422, 426
Масапиль, Мексика 199
Маскот, США 116, 119, 121, 122
Маскота, Мексика 197, 223
Масуа, Сардиния 394, 396
Матеуала, Мексика 199
Матильда, Боливия 40
Матлок, Англия 546, 548, 550, 552—556
Маубах, Германия 50, 510—513, 517—519
Маунт Айза, Австралия 17, 44, 307—323
Мегген, Германия 19, 50
Менда, США 181, 184, 188
Менетреск, Швеция 563
Мескиталь, Мексика 199
Металлайн, США 36
Мехерних, Германия 18, 50, 497—505, 513, 515—520
Ми, Мексика 210
Мибладен, Марокко 352, 354
Ми Кармен, Мексика 237—239
Миллклоз, Англия 543—556
Мильпильяс, Мексика 197, 223
Микиуана, Мексика 198
Мина, Мексика 198, 210
— Азуль, Мексика 235
— Рагра, Перу 247
Минас Вьехас, Мексика 198, 223
Минитас, Мексика 197
Минся, Китай 588
Миньхоу, Китай 588
Мирадор, Мексика 236
Митра, Мексика 211, 213, 223
Могодуру, Португалия 387
Моланго, Мексика 197
Момин, Китай 589
Монарх, Канада 28
Монкорну, Португалия 387
Монтевеккио, Сардиния 396, 401, 406, 408, 410, 411—427
Монтепони, Сардиния 313—396, 398, 401, 405, 409, 411
Монтесума, Мексика 235
Морелос, Мексика 197
Морнинг, США 144
Морокоча, Перу 40, 242—246, 259, 269—282, 283, 288, 289
Мосси Крик, США 116
Мпанда, Танганьика 44, 324—342
Муквамба, Танганьика 333—337, 339
Мулече, Мексика 197
Мури, Нигерия 345, 346
Мускис, Мексика 198
М'Фис, Марокко 354, 356—360
Мыншань, Китай 588
Мьякализа, Танганьика 336

Назафьел, Швеция 563, 571
Наика, Мексика 197, 200, 208, 209, 211, 212, 214, 215
Накататсу, Япония 54
Наркао, Сардиния 404
Небида, Сардиния 394, 396, 401
Невада Стьюарт, США 144
Нейкен, Аргентина 40
Нелли, США 144
Нигерия, месторождения 343—351
Ниеба, Нигерия 344, 346, 347
Нинсян, Китай 588
Нинхай, Китай 588
Ново Брдо, Югославия 454
Нокс, США 112, 113, 115
Нория Педресенья, Мексика 197
Норзон Роуин, Канада 30
Норметалл, Канада 30
Норрлинден, Швеция 564
Ньевес, Мексика 199
Нью Кэлюмет, Канада 30
Нью-Мексико, месторождения 153—175

Огуэла (см. Ла Огуэла)
Ожел Бялы, Польша 491
Озен, Швеция 564
Окулла, Швеция 564
Олдхэт, США 36
Олькуш, Польша 487, 494—496

Ольпума, Нигерия 346
Ольястра, Сардиния 403, 408
Омбла, Перу 276—281
Оммеберг, Швеция 15, 52, 572, 582—586
Оркаситас, Мексика 199
Ормзье, Швеция 563
Освальдо, США 160
Остотикапильо, Мексика 197
Оурэ, Португалия 386
Охо Кальенте, Мексика 199

Пайшоу, Китай 588
Палома, Мексика 207, 269
Пальмильяс, Мексика 199
Пальял, Португалия 385
Пануко, Мексика 198, 199, 210, 223
Паредес — Гондомар, Португалия 386
Парк Сити, США 34
Парраль, Мексика 197, 200, 210, 216, 223, 224
Паррас, Мексика 198
Паррокья-Магистраль, Мексика 38
Педрегаль, Мексика 228, 241
Пеньолес, Мексика 197
Пиккалина, Сардиния 413, 418, 422, 423, 425
Пиналь де Аморес, Мексика 223
Пинос, Мексика 199
Пинсян, Китай 588
Пиню, Китай 589
Пинян, Китай 588
Пиоче, США 17, 34, 176—191
— Хилл, США 185—188
Питтсбург, США 144
Пиуамо, Мексика 197, 223
Пичер, США 83, 88, 90, 94
Платерос, Мексика 202, 223
Пломосас, Мексика, Чигуагуа 197, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 223
— — Синалоа 199
— — Сонора 199
Подеста, Сардиния 396
Полу, Китай 589
Полярис, США 144
Посос, Мексика, США 197
Потоси, Перу 271, 273
Поуэлл Ривер, США 117, 118, 119, 121, 122
Прегис, Португалия 390, 391
Принс, США 189, 190
Провиденсия, Мексика 202, 211, 223
Проаньо, Мексика 199
Пршибрам, Чехословакия 46
Пулакайо, Боливия 40
Пумауси, Аргентина 40
Пурмэн, США 144
Пэйдж, США 144
Пьедра Болла, Мексика 214
Пьюабик, США 155, 160, 168

Рабенштейн 18
Райбл, Италия 7, 18, 46, 428—446
Раккеяур, Швеция 562—565
Раммельсберг, Германия 48
Раура, Перу 244, 245
Ревлиден, Швеция 563, 565, 566
Ред Клифф, США 34
Ремдален, Швеция 563, 571
Ренстрем, Швеция 562, 565
Рехамна, Марокко 353
Рибейра де Ламба, Португалия 386
— — Пена, Португалия 385
Ривс-Мак Дональд, Канада 28
Рид Розберри, Тасмания 44
Рико, США 36
Риллсхиттан, Швеция 572, 573, 578, 579
Рио Гранде, Австралия 311, 312, 314, 320—322
Рипаблик, США 160
Рихельсдорф, Германия 524—526
Рогозна, Югославия 454
Рок Крик, США 144
Рюкен, Германия 540
Рютьебекен, Швеция 558, 562, 563

Сабиналь, Мексика 197, 223
Сабинас Виктория, Мексика 198
— Идальго, Мексика 198
Сакатекас, Мексика 199
Сакатлан, Мексика 199
Сакуилпан, Мексика 210
Сакьет Сиди Юсуф, Тунис 375—378
Сала, Швеция 573, 575, 576
Сан Андрес, Мексика 197
— Антонио, Мексика 197, 199, 213
— — Сардиния 406, 413, 414, 418, 420, 425, 426
— Грегорио, Перу 247
— Джованни, Сардиния 394, 396, 405, 411
— Жоано де Пескейра, Португалия 386, 387
— Игнасьо, Мексика 197
— Карлос, Мексика 197, 211, 215
— Кристобаль, Перу 42, 242, 243, 245, 246, 283—286, 288
— Лоренсо, Мексика 197
— Луис де ла Пас, Мексика 197
— — Потоси, Мексика 193, 223
— Мартин, Мексика 202
— Мигель Перас, Мексика 198
— Николас, Мексика 199

Сан Педро Корралитес, Мексика 200, 215, 223
— Роберто, Мексико 38, 209, 224
Сантьяго Минас, Мексика 198
Сан Фелипе, Мексика 199
— — дель Агуа, Мексика 198
— Франциско, Мексика 198
— — Перу 271, 273, 275, 276
— — дель Оро, Мексика 38, 197, 210, 220, 223, 476
— Хосе, Мексика 199
— Хуан, Мексика 198
Санкт-Вейт, Австрия 18, 46
Санна, Сардиния 418, 423—425
Санта Барбара, Мексика 38, 197, 200, 210, 213, 220, 223, 226
— — Перу 247
— Елена, Мексика 223
— Каталина, Мексика 198
— Катарина, Мексика 198
— Рита, США 155—164, 169, 172—174
— — Мексика 199
Санто Доминго, Мексика 197
— Эвлалия, Мексика 193, 197, 200, 208, 221—216, 223
Санто Томас, Мексика 198
Сантандер, Перу 42, 244, 245
Саншайн, США 144
Сарагоса, Мексика 198
Сардинские месторождения, Италия 18, 46, 393—427
Саррабус, Сардиния 401, 404, 406
Сауарипа, Мексика 199, 223
Свартвик, Швеция 572, 573
Свитуотер, США 117, 119, 121, 122
Седас Модиззис, Сардиния 394
Серакапулько, Перу 244, 245
Серро дель Меркадо, Мексика 198
— Минас, Мексика 198
— дель Муэрто, Мексика 234, 248
— де Паско, Перу 42, 242—246, 251—269, 281
— — Прието, Мексика 197
Сиберия, Перу 283
Сигарреро, Мексика 197, 215
Сиди Амор, Тунис 375—377, 378
— Ахмед, Тунис 375, 376
— Бу Аун, Тунис 373, 375, 376, 377
Сидней, США 144
Силвер Белт, США 144
Сильвберг, Швеция 572, 573
Симапан, Мексика 197, 202, 207, 209, 211, 215, 216, 219, 223
Симбо, Танганьика 336
Синокипа, Мексика 199
Синшан, Китай 589
Скеллефте, Швеция 50, 559—566
Слокэн, Канада 28
Сола, Мексика 198
Сола де Вега, Мексика 223
Солага, Мексика 198
Сомбререте, Мексика 199
Сомеллуакан, Мексика 199
Сопилоте, Мексика 198
Сноустром, США 144
Спессарт, Германия 538
Стандард Маммот, США 144
Стантон, Англия 550, 552, 555
Стар, США 144
Стерлинг, США (см. Франклин-Стерлинг)
Столльберг, Швеция 572, 581, 582
Странтрг, Югославия 6, 447—476
Суанун, Китай 589
Субиате, Мексика 199
Сузан Дастер, США 190
Сулительма, Норвегия 571
Сулливан, Канада 7, 15, 26, 30, 62—73, 475
— США 145
Сульчис, Сардиния 399, 400, 407
Сьенегилья, Мексика 197
Сьенегита, Мексика 199
Сьерра Вальесильо, Мексика 198
— де Альмойя, Мексика 200, 211, 215, 223
— де Монтальту, Португалия 386
— Мохада, Мексика 198, 204, 214
— де-Пломо-Синк, Мексика 204
— де Рамирес, Мексика 202
— де Санта Мария, Мексика 209
Сьерраделу, Португалия 386
Сянсян, Китай 588
Сяншань, Китай 588
Сяцзян, Китай 589

Табаа, Мексика 198
Табуасу, Португалия 386, 387
Тавиче, Мексика 198, 209, 223
Тадаут, Марокко 354—356
Тайгер, США 144
Тайшу, Япония 54
Талеа, Мексика 198
Тальядела, Португалия 385, 386
Тамарак, США 144
Танлиу, Китай 591
Танцберг, Германия 499
Тапона, Мексика 199
Тарновске Гуры, Польша 486, 487, 489—492, 494—496, 478, 480, 482
Тасдермат, Марокко 354
Тасос, Греция 483, 485

Тауэ, Марокко 17, 46, 352—360, 368
Тахо, Португалия 382, 384, 390
Тачко, Мексика 6, 7, 38, 204, 209, 210, 221, 225—241
Твин «Джи», Канада 28
Тебака, Мексика 199
Телле, Сардиния 418, 424, 426
Телолоапан, Мексика 199
Тенекста, Мексика 199
Теопантлан, Мексика 199
Теохомулко, Мексика 198, 223
Тепенене, Мексика 197
Тепехи, Мексика 199
Терра де Колу, Сардиния 399
Террамонте, Португалия 38
Тесья, Мексика 199
Тетто, Сардиния 418
Теуакан, Мексика 199
Теуилотепек, Мексика 197
Теуитсинго, Мексика 199
Теутла, Мексика 199
Техамен, Мексика 207
Тзумеб, Юго-Западная Африка 44
Тил Ингортозу, Сардиния 418
Тинтик, США 36
Тиоха, Япония 54
Тиро, Мексика 213
Толиман, Мексика 199, 223
Тлакотепек, Мексика 198
Тлаксиако, Мексика 198
Тлалпухауа, Мексика 198
Тлалчикера, Мексика 197
Тлахиако, Мексика 223
Топия, Мексика 197, 223
Тотомауапа, Мексика 198
Тотомакстла, Мексика 198
Травиеско, Перу 42
Трен, Мексика 199
Трепча, Югославия 14, 16, 48, 452, 454
Тринидад, Мексика 197
Три Стэйт, месторождения 30, 80, 81, 83—94, 120
Туирёф, Тунис 373—375, 377, 378
Туиссит-Бу Бекер, Марокко 18, 46, 352, 360—368
Тунайшань, Китай 591
Тяньбаошань, Китай 602—604, 606

Уарон, Перу 244, 245
Уасамота, Мексика 223
Уачинанго, Мексика 197
Уачон, Перу 247
Уинстермор, Англия 549
Уньон, Мексика 198
Урике, Мексика 197
Уруачик, Мексика 197
Уэтамо, Мексика 198
Уэтималка, Мексика 199

Фалун, Швеция 15, 52, 572—577
Флин Флон, Канада 28, 74—77
Фортуна, Сардиния 396
Франклин-Стерлинг, США 7, 124—144
Франклин Фернес, США 13, 32
Фрейжу де Эспада-а-Синта, Португалия, 387
Фрео, Швеция 563
Фреснильо, Мексика 38, 199, 210, 223
Фриско, США 144
Фулочан, Китай 589

Хайакастепек, Мексика 198
Хайленд Сарпрайз, США 144
Хакала, Мексика 197
Халкидики, Греция 476—478
Хангет Кеф Ту, Тунис 376
Хелкин, Англия 50
Хеншан, Китай 588
Хесус, Мексика 228, 241
Химулко, Мексика 198, 215, 223
Хичу, Мексика 197
Хойли, Китай 589, 602—604, 606, 607
Хокотитлан, Мексика 197
Хоскинс Майн, США 103, 104, 106
Хосокура, Япония 54
Хофын, Китай 589
Хуаншань, Китай 589—591
Хулкани, Перу 244, 245
Христиан Левин, Германия 50
Хшанув, Польша 486, 487, 489—492
Хюггель, Германия 538

Цзинтань, Китай 588
Цзиньсянь, Китай 588
Цзиси 589
Цзичэнцзы, Китай 606
Цзыли, Китай 590, 607

Шангао, Китай 588
Шафберт, Германия 502
Шевен, Германия 501
Шерман, США 144
Шеррит Гордон, Канада 28, 77—79
Шиб-эр-Раз, Марокко 354—356
Шикоушань, Китай 587, 592—595, 607
Штейн, Германия 50
Штольберг, Германия 497

Чайно, США 160
Чалчиуитес, Мексика 199
Чанчамина, Перу 247
Чаркас, Мексика 199
Чжуцзи, Китай 588, 591, 607

Чжэнсянь, Китай 588
Чилете, Перу 42
Чинчуань, Эань, Китай 588, 595, 596
Чиньяуалан, Мексика 199
Чиуаутла, Мексика 199
Чишан, Китай 588
Чьенаутла, Мексика 199
Чэнуньсиань, Китай 589

Эли Валей, США 187
Эль Бате, Мексика 199, 210
Эль Доктор, Мексика 210, 215, 223
Эль Кобре, Мексика 236, 238, 239
Эль Лимон, Мексика 197
Эль Оро, Мексика 197
Эль Потоси, Мексика 38
Эльтон, Англия 546
Эсканель, Мексика 199
Эскондида, Мексика 197
Эсперанса, Аргентина 40
Эстрельяс, Мексика 202

Юба, США 185, 188
Юго-восточное Миссури, месторождения, США 30, 94—96
Юнтай, Китай 588
Юнцзя, Китай 588
Юта Коппер, США, 147—153

Якукундо, Мексика 198
Янцзячанцзы, Китай 604, 605
Яньево, Югославия 454
Ятони, Мексика 198
Яуакатлан, Мексика 199
Яуинак, Мексика 199
Янь Китай, 588

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

К. Дэнхем. Введение 9

Мировая продукция 9
Запасы 11
Классификация месторождений свинца и цинка 13
Относительное промышленное значение выделенных типов . 19
Заключение 20
Литература 56

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Канада 62

К. Свансон. Рудник Сулливан, Британская Колумбия 62
Краткое содержание 62
История 62
Продукция и запасы 63
Основные черты геологического строения 63
Детали геологического строения 66
Литература 73

Т. Тантон, Д. Гаррисон. Рудники Флин Флон и Шеррит Гордон 74
Краткое содержание 74
Рудник Флин Флон 74
Рудник Шеррит Гордон 77

Соединенные Штаты Америки 80

К. Бере, А. Гейл, мл., Е. Мак Найт. Цинковые и свинцовые месторождения долины Миссисипи 80
Краткое содержание 80
История 81
Район Три-Стэйт 83
Округ юго-восточного Миссури 94
Округ Кентукки — Иллинойс 97
Округ долины Верхней Миссисипи 98
Происхождение руд 109
Литература 110

А. Брокау. Геологические и минералогические условия цинкового района Восточного Теннесси 112
Краткое содержание 112
Стратиграфия рудоносных площадей 112
Структура 115
Рудные месторождения 116
Литература 123

А. Пинжер. Геология района месторождений Франклин — Стерлинг, Нью-Джерси 124
Краткое содержание 124
История 124
Горные работы 126
Геология 127
Генезис руды 133
Литература 141

П. Шенон. Свинцовые и цинковые месторождения округа Кёр Д'Ален, Айдахо 142
Краткое содержание 142
История 142
Геология 143
Будущее округа 146
Литература 146

Р. Хэнт и Х. Пикок. Свинцовые и свинцово-цинковые руды в округе Бингэм, Юта 147
Краткое содержание 147
История месторождения и добыча 147
Геология рудных месторождений 149

С. Ласки, А. Хогланд. Центральный рудный район, Нью-Мексико 154
Краткое содержание 154
Введение 155
Геология 158
Рудные месторождения 167
Месторождения в „контактово-метаморфических" ореолах . 167
Месторождения замещения в известняке 169
Жильные месторождения цинка, свинца и меди 172
Запасы 174
Литература 174

Е. Юнг. Округ Пиоче 176
Краткое содержание 176
История округа и добыча 176

Характеристика рельефа 178
Геологические исследования 178
Стратиграфия 179
Структура 185
Минерализация 188
Литература 191

Мексика 192

Гонсалес Рейна. Геология, парагенезис и запасы свинцовых и цинковых месторождений Мексики 192
Краткое содержание 192
Исторические данные 192
Месторождения свинца и цинка 196
Добыча 216
Запасы 222
Дискуссия 224

Г. Фаулер, Р. Хернон, Г. Стоун. Горнорудный район Тачко, Герреро 225
Краткое содержание 225
Введение 225
Вмещающие породы 229
Структура 230
Минерализация 235
Текущая горнорудная деятельность 241

ЮЖНАЯ АМЕРИКА

Перу 242
Свинцовые и цинковые месторождения центрального Перу 242
Краткое содержание 242
Введение 243
Региональные условия 247
Округ Серро де Паско 251
Район Морокоча 269
Район Сан Кристобаль 282
Район Касапалка 286
Заключение 293
Литература 294

АВСТРАЛИЯ

Новый Южный Уэльс 295
Э. Эндрьюс. Геология месторождения Брокен Хилл 295
Краткое содержание 295

Введение 295
География 296
Геология 296
Рудные месторождения 301
Дискуссия 304
Литература 306

Квинсленд 307

С. Картер. Геология, парагенезис и запасы руды месторождения Маунт Айза 307
Краткое содержание 307
Геология 307
Рудные месторождения 311
Парагенезис 315
Запасы 322
Литература 323

АФРИКА

Танганьика 324

Ж. Пуссен и Мак Коннелл. Рудное поле Мпанда в Западной Танганьике 324
Краткое содержание 324
Введение 324
Топография и физиография 326
Общие геологические особенности 326
Минерализация 332
Окисление и выветривание 333
Структура и жильные системы 334
Широтные трещины 336
Меридиональные разломы 337
Жилы северо-восточного простирания 337
Структурный и литологический контроль минерализации . . 338
Происхождение месторождения 340
Запасы руды 340
Дискуссия 341
Литература 342

Нигерия 343

Р. Мэкей. Жильные месторождения свинца и цинка в нижнемеловых отложениях 343
Краткое содержание 343
Введение 343

Минерализованные жилы 346
Дискуссия 349
Литература 351

Марокко 352

Г. Журавский, Ф. Перменжа, Ж. Булядон и Ж. Агар. Два типа свинцовых месторождений Французского Марокко 352
Краткое содержание 352
Введение 352
Жильные месторождения Тауз 354
Месторождения замещения Туиссит — Бу Бекер 360
Дискуссия 368
Литература 368

Тунис 369

П. Сэнфельд. Месторождения свинца и цинка 369
Краткое содержание 369
Географическое и геологическое положение 369
Металлогения 370
Заключение 379

ЕВРОПА

Португалия 380

Х. Гимараэнс дос Сантос. Главные месторождения свинцовых и цинковых руд 380
Краткое содержание 380
Введение 380
Добыча 383
Минеральные ассоциации 384
Некоторые месторождения Португалии 384

А. Феррейра (посмертная статья). Месторождения каламина и смитсонита в южной Португалии 390
Краткое содержание 390

Италия 393

В. Новарезе. Свинцово-цинковые месторождения Сардинии . . . 393
Краткое содержание 393
Группа А. Месторождения в рудоносных известняках . . . 393
Группа Б. Жилы, секущие породы различного происхождения 396
Парагенезис 397
Добыча 400

С. Вардабассо. Геология герцинских свинцово-цинковых месторождений Сардинии 401
Краткое содержание 401
Литература 409

П. Цуффарди. Свинцово-цинковые месторождения Монтевеккио в Сардинии 411
Краткое содержание 411
Введение 411
Геологическое строение района Монтевеккио 412
Зона разломов Монтевеккио 416
Минерализация и морфология отдельных разломов 418
Поверхностные изменения в жилах Монтевеккио 426

Д. Кольбертальдо. Свинцово-цинковое месторождение Райбл во Фриули 428
Краткое содержание 428
Введение 428
Геология района 429
Тектоника округа и месторождения 432
Природа и классификация рудных месторождений 437
Минералы первичного месторождения 438
Жильные минералы 442
Развитие оруденения и его отношение к тектоническим фазам 442
Гипотезы о происхождении гидротермальных растворов в возрасте месторождения 443
Установление новых рудных горизонтов в месторождении Райбл 445
Дискуссия 446

Югославия 447

К. Форган. Свинцово-цинковое месторождение Стантрг 447
Краткое содержание 447
Введение 447
Осадочные и изверженные формации 450
Структура месторождения Стантрг 454
Горные выработки 457
Рудные месторождения 458
Роль геологического изучения при разведке месторождения 473
Дискуссия 474
Литература 476

Греция 477

Г. Маринос. Свинцовые и цинковые руды в Греции 477

Краткое содержание 477
Литература 485

Польша 486

Я. Звижицкий. Свинцовые и цинковые руды в Польше 486
Краткое содержание 486
Введение 486
Тектонические структуры 488
Доломитизация 489
Рудные месторождения 490
Минеральные ассоциации 492
Происхождение руд 493
Выходы окисленных руд 493
Погребенная поверхность триаса 494
История разработок 494

Германия 497

Ф. Беренд. Вкрапленные месторождения свинцовых и цинковых руд в Пестром песчанике на северной окраине Эйфеля и их происхождение 497
Краткое содержание 497
Введение 497
Мехерних 499
Каллер Штоллен 505
Шахта Гуте Хоффнунг у Бешайда 506
Маубах 510
Генезис месторождений 514

Т. Динс. Медистые сланцы и ассоциированная с ними свинцово-цинковая минерализация в пермских породах Силезии, Германии и Англии 521
Краткое содержание 521
Введение 521
Центральная Германия 523
Нижняя Силезия 528
Западная Германия 532
Северо-восточная Англия 533
Современные теории и проблемы, относящиеся к медистым сланцам 536
Дискуссия 540
Литература 541

Великобритания 543

Д. Ширлей. Стратиграфическое распределение и перспективы свинцово-цинковых руд в месторождении Миллклоз 543
Краткое содержание 543
Введение 543
Стратиграфический разрез 544
Сопоставление подземного разреза со стратиграфической колонкой территории 549
Горизонты рудных тел рудника Миллклоз и общие законы их отложения 551
Общая структура округа Матлок и его перспективы 552
Дискуссия 556
Литература 557

Швеция 558

Э. Грип. Свинцово-цинковые месторождения северной Швеции . 558
Краткое содержание 558
Введение 558
Район Скеллефте 559
Месторождения в каледонидах 566
Дискуссия 571

Н. Магнуссон. Свинцово-цинковые месторождения центральной Швеции 572
Краткое содержание 572
Введение 572
Фалунский тип месторождений 574
Оммебергский тип 582
Дискуссия 586

АЗИЯ

Китай 587

К. Се. О свинцово-цинковых и серебряных месторождениях Китая 587
Краткое содержание 587
Введение 587
Географическое распределение 587
Хуаншань, Чжуцзи, провинция Чжецзян 589
Иншань, округ Дэсин, провинция Цзянси 591
Шикоушань, Чаннин, центральный Хунань 592
Цзиньчуаньтан, округ Ченсян, южный Хунань в области Наньлин 595
Ляочашань, округ Цзыли, западная Хунань 596

Гуаншанчань, Тунчуан, восточная Юньнань 598
Ломачань, Лутянь, восточная Юньнань 601
Тяньбаошань, Хойли, провинция Сикан 602
Янцзячаицзы, Ченси, провинция Ляонин 604
Цзичэнцзы, Фынчэн, провинция Ляонин 606
Тяньбаошань, Яньцзы, провинция Гирин 606
Выводы в отношении геологии, генезиса и парагенезиса . . 606

Редактор И. А. ОСТРОВСКИЙ

Техн. редактор *Е. С. Герасимова*

Сдано в производство 26/VII 1951 г.
Подписано к печати 2/XI 1951 г.
А08746. Бумага 60 × 92¹/₁₆=19,9 бум. л.
39,8 печ. л., в т/ч 5 вкл.
Уч.-издат. л. 41,3. Изд. № 5/1034.
Цена 33 р. 70 к. Зак. 2781.

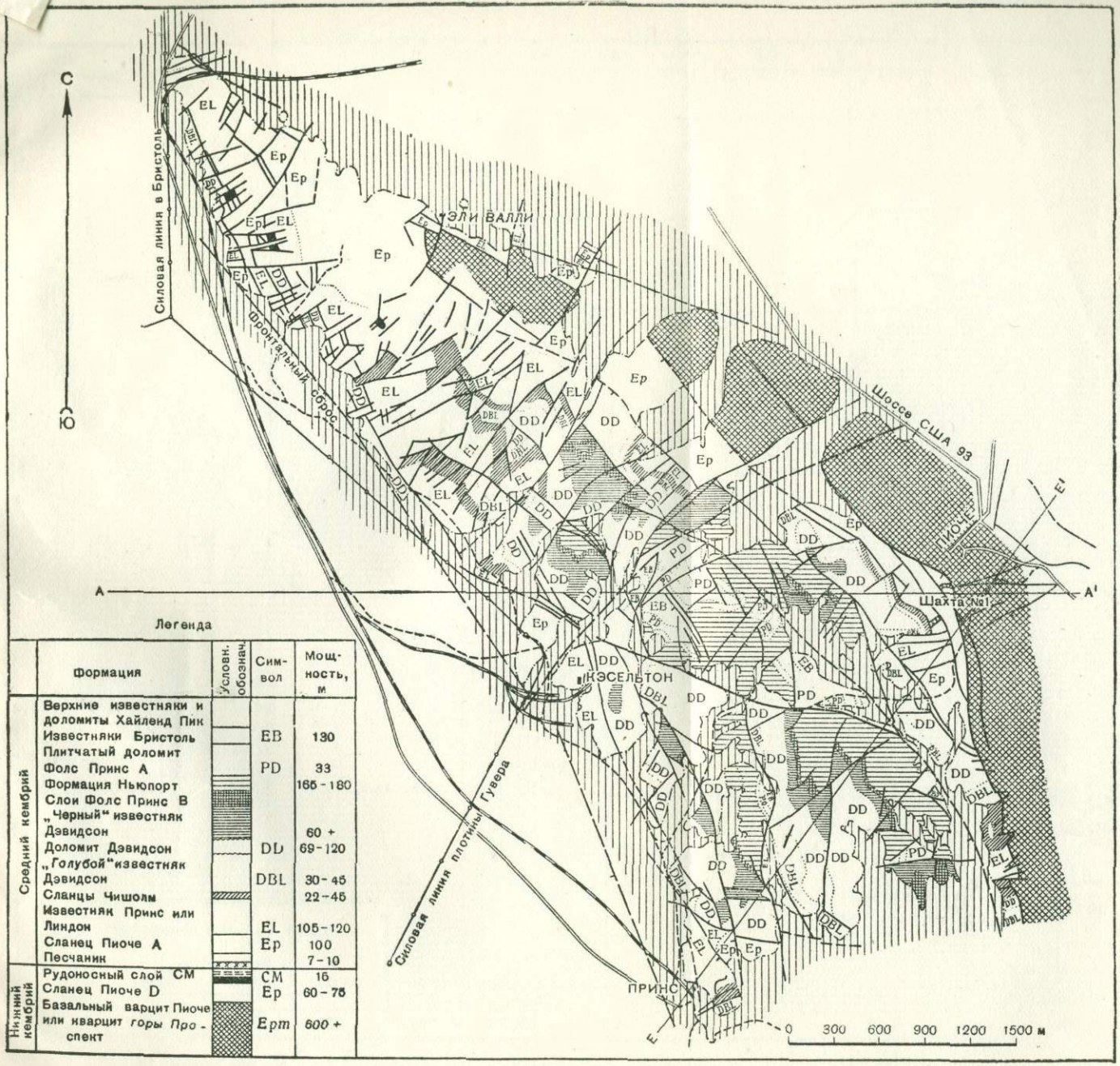
4-я типография им. Евг. Соколовой
Главполиграфиздата при Совете
Министров СССР.
Ленинград, Измайловский пр., 29.

Опечатки

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Следует читать*
183	8 сн.	солиты	оолиты
315	19 »	их замещение	их; замещение
365	19 »	серный	серый
397	2 св.	северо-восток	северо-запад
418	10 »	толщииах	толщах
600	24 сн.	гидроциицит	гидроцинкит
603	1 »	Тьепаошань, Хюфли,	Тяньбаошань, Хойли,

Зак. № 2781. Геология, парагенезис и запасы руд.

378



Легенда

	Формация	Услов. обознач.	Символ	Мощность, м
Средний кембрий	Верхние известняки и доломиты Хайленд Пик			
	Известняки Бристоль		EB	130
	Плитчатый доломит			
	Фолс Принс А		PD	33
	Формация Ньюпорт			165 - 180
	Слои Фолс Принс В			
	„Черный" известняк Дэвидсон			60 +
	Доломит Дэвидсон		DD	69 - 120
	„Голубой" известняк Дэвидсон		DBL	30 - 45
	Сланцы Чишолм			22 - 45
	Известняк Принс или Линдон		EL	105 - 120
	Сланец Пиоче А		Ep	100
	Песчаник			7 - 10
Нижний кембрий	Рудоносный слой СМ		CM	15
	Сланец Пиоче D		Ep	60 - 75
	Базальный варцит Пиоче или кварцит *горы Проспект*		*Epm*	*600 +*

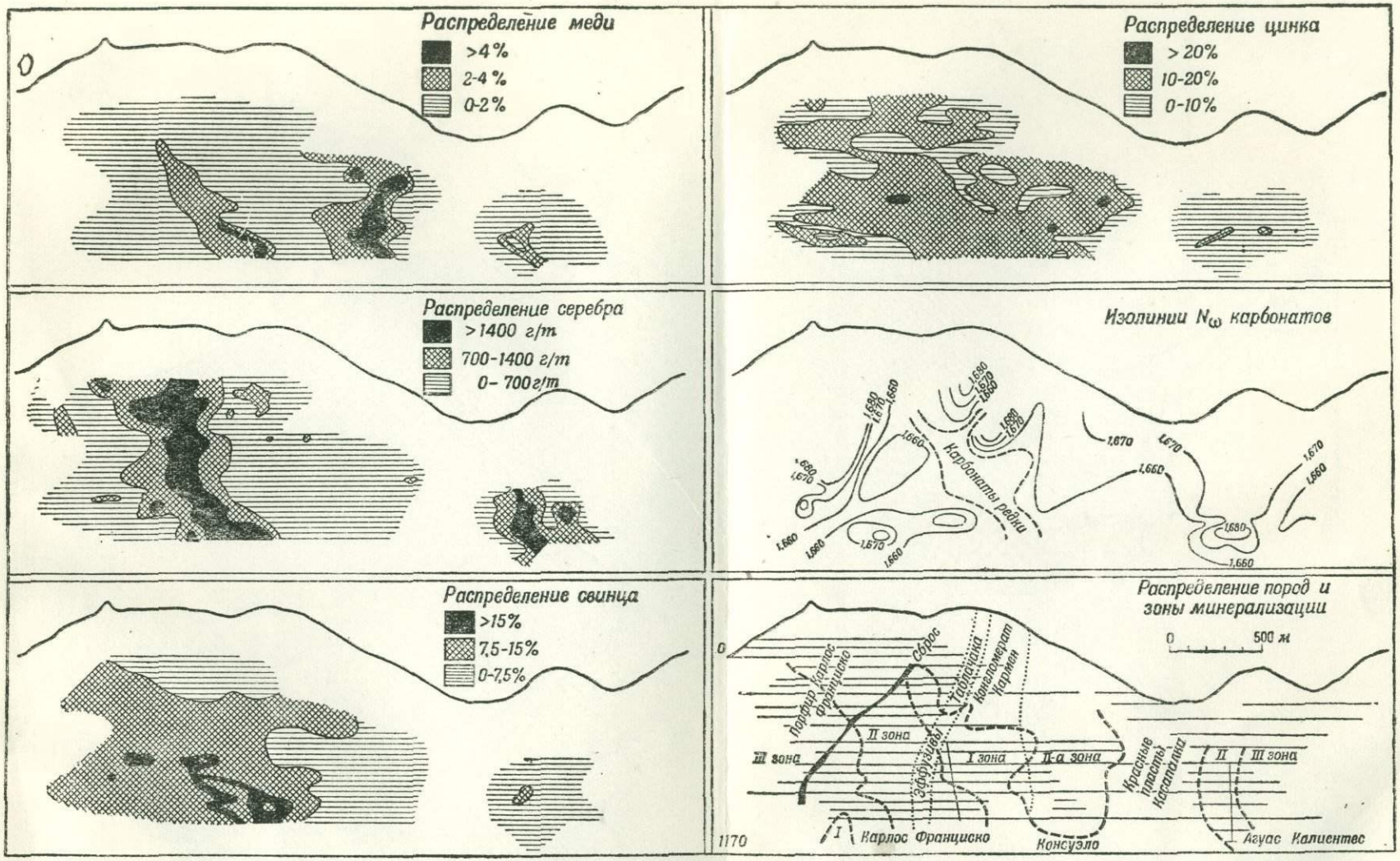
Фиг. 32. Геологическая карта продуктивной площади Пиоче Хиллс.

Зак. 2781. Сборник.

Зак. 2781. Сборник.



Фиг. 34. Географическое распределение свинцово-цинковых месторождений на территории Мексиканской республики.



Фиг. 47. Продольные разрезы жилы Касапалка, показывающие распределение меди, серебра, свинца и цинка; контуры показателя w карбонатов; распределение пород и зональность минерализации.

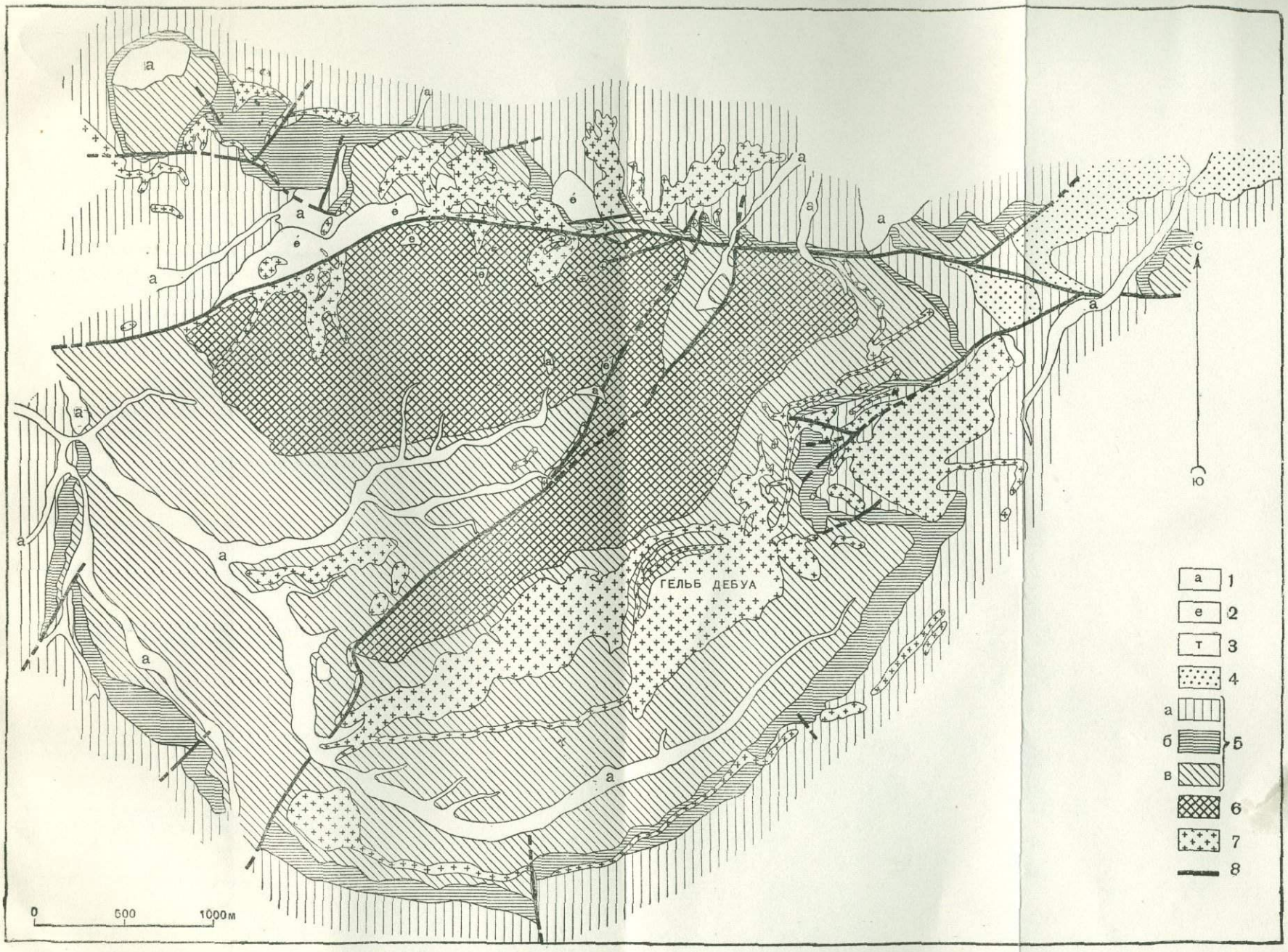
Зона I—небольшое содержание меди и серебра; умеренное—свинца и цинка; интенсивное окремнение; редкие серицит и карбонаты, арсенопирит, гюбнерит, галенит, сфалерит и кубики пирита. *Зона II*—высокое содержание меди, серебра, свинца и цинка; слабое окремнение; обильны марганцовый карбонат и серицит, тетраэдрит, галенит, сфалерит, кубики и пентагондодекаэдры пирита. *Зона IIа*—высокое содержание меди и цинка; низкое—серебра и свинца; умеренное окремнение; обычны марганцовый карбонат и серицит, халькопирит, сфалерит, тетраэдрит, галенит и пентагондодекаэдры пирита. *Зона III*—умеренное количество серебра, свинца и цинка; небольшое количество меди; слабое окремнение; обильный марганцовый карбонат и серицит, бурнонит, геокронит, стибнит, тетраэдрит, сфалерит, галенит и пиритовые пентагоидодекаэдры.

Зак. 2781. Сборник.

Фиг. 56. Геологическая карта района М'Фис (близ Тауза).

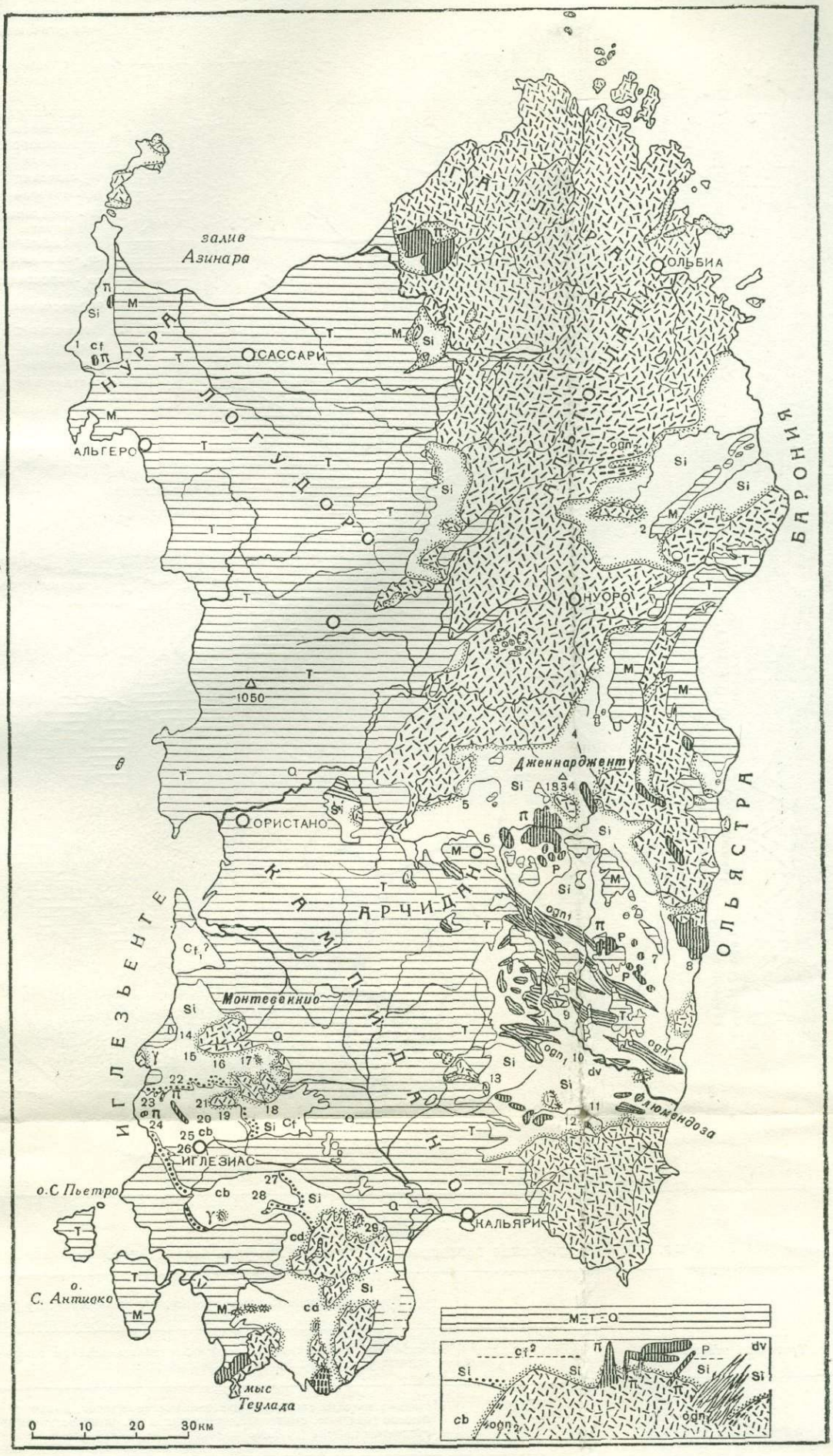
1—аллювиальные отложения; *2*—эбули; *3*—травертин; *4*—динантские отложения; *5*—фаменские отложения: *а*)—верхний горизонт (сланцевый), *б*—средний горизонт (известняковый), *в*—нижний горизонт (франский и сланцевый); *6*—живетские и эйфельские отложения (известняки); *7*—изверженные породы (диориты); *8*—сбросы.

Зак. 2781. Сборник.



Фиг. 56. Геологическая карта района М'Фис (близ Тауза).

1—аллювиальные отложения; *2*—эбули; *3*—травертин; *4*—динантские отложения; *5*—фаменские отложения: *а*)—верхний горизонт (сланцевый), *б*—средний горизонт (известняковый), *в*—нижний горизонт (франский и сланцевый); *6*—живетские и эйфельские отложения (известняки); *7*—изверженные породы (диориты); *8*—сбросы.



Ф и г. 64. Герцинские месторождения Сардинии.

Геологические комплексы

Комплекс, перекрывающий герцинский массив.

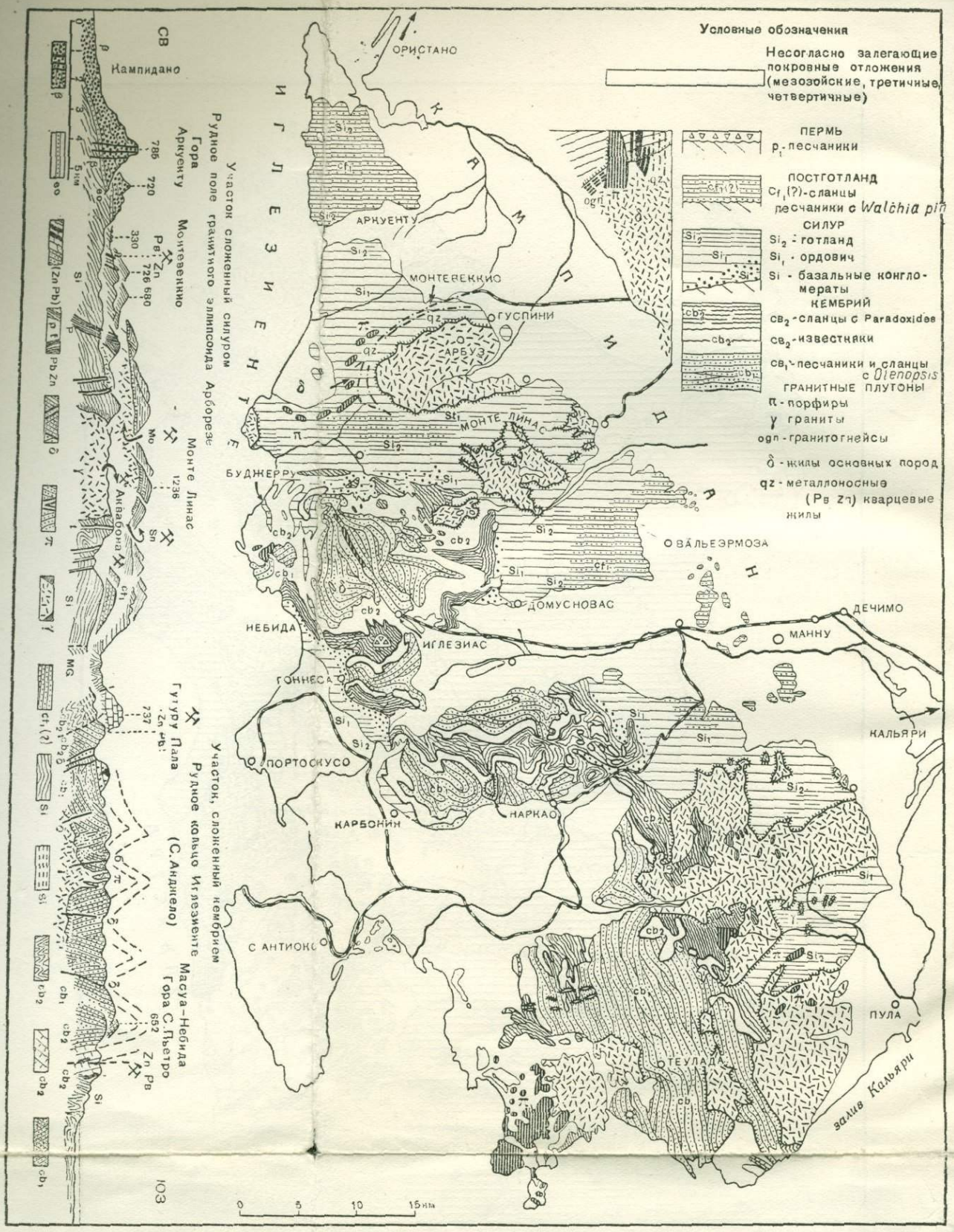
Q — четвертичные отложения (Кампидано и т. д.);
T — третичные осадочные и вулканические отложения (Логудоро, Кампидано, Сульчис, Барония и т. д.);
M — мезозой (Нурра, Барония, Ольястра, Арчидано, Сульчис).

Герцинский массив

P — пермь, угленосные отложения (антрацитовые толщи) (Ольястра, Барбаджа, район к югу от Дженнарджентy);
Cf_1 — „постготланд": девон или нижний карбон (?) (Нурра, Иглезиенте);
dv — девон (Джерреи — нижняя Флюмендоза);
Si — силур (толща сланцев; отложения, наиболее широко развитые в Сардинии);
cb, cd — кембрий (Иглезиенте — Сульчис);
π — порфириты — апофизы и жилы пермского возраста (Галлура, Барбаджа, Ольястра и т. д.);
γ — герцинские граниты (верхний карбон);
ogn_2 — ортогнейсы; периферические фации гранита (Альтопьяни и др.);
ogn_1 — порфироиды, прегранитьi (средняя Флюмендоза).

Рудные месторождения

1. Нурра (Ардженгьера — Pb, Zn); 2. Северо-восточная часть Альтопьяни (Лулла — Pb, Zn); 3. Нуорезе (Орани — тальк); 4. Дженнарджентy (Корребой — Pb, Zn); 5. Дженнарджентy (Меана-Аридзо — Fe); 6. Дженнарджентy (Фонтана Раминоза — Cu); 7. Ольястра (Тертения — Cu); 8. Ольястра (Сарала — Ba); 9. Джерреи (Баллао — Sb); 10. Джерреи (Вильясальто — Sb); 11. Саррабуз (Муравера и др. — Pb, Ag, Zn); 12. Саррабуз (Бурчеи — Pb, Ag, Zn); 13. Саррабуз (Орту Беку — Pb); Иглезиенте (Монтевеккио — Pb, Zn); 14. Иглезиенте (Ингуртоза — Дженнамари — Pb, Zn); 15. Иглезиенте (Аква Бона — Pb, Zn); 16. Иглезиенте (Фенугу Сибири — Co, Ni); 17. Иглезиенте (Плану из Кастантис — Mo); 18. Иглезиенте (Монте-Манну — Sn); 19. Иглезиенте (Са Дукесса — Cu; Перда Ньеда — Fe); 20. Иглезиенте (Сан Бенедетто, Малкакалсетта и др. — Pb, Zn); 21. Иглезиенте (Тини, Аренас и др. — Pb, Zn); 22. Иглезиенте (Гуттурупала, Цурфуру и др. — Pb, Zn); 23. Иглезиенте (Буджерру, Мальдифано, Плану Дентис и др. — Pb, Zn); 24. Иглезиенте (Аквазези, Масуа, Небида и др. — Pb, Zn); 25. Иглезиенте (Монтепони, Кампо Пизано — Pb, Zn); 26. Иглезиенте (Сан Джованни, Седдас Моддиджиз и др. — Pb, Zn); 27. Сульчис (Орбай — Pb, Zn); 28. Сульчис (Розаз, Наркао — Pb, Zn, Cu); 29. Сульчис (Капотерра — Fe).



Ф и г. 65. Схематическая геологическая карта и профиль Иглезиенте.

Третичные отложения	β	Брекчии и базальтовые и андезитовые жилы Аркуенту (плиоцен)
	eo	Известковые конгломераты, несогласно залегающие на силурийских отложениях у подошвы Аркуенту (эоцен?)
Условные обозначения на профиле: Герцинский комплекс	(ZnPb)	Метасоматические свинцово-цинковые месторождения, большей частью окисленные (каламин, смитсонит, церуссит и др.) в известняках и доломитах среднего кембрия („рудное кольцо“)
	PbZn	Жильные месторождения (галенит и цинковая обманка; выполнение — кварц в силурийских сланцах в общем подчинены гранитам; *p* — периферические жилы Монтевеккио, более богатые; *t* — поперечные („секущие“) жилы, более бедные
	δ	Жилы основных пород (диабазы, лампрофиры)
	π	Порфиритовые жилы, возможно, исходящие от апофизы или купола гранитного массива, перекрытого песчаниками кембрия (антиклинорий Сан Анджело — Сан Пьетро)
	γ	Граниты купола Арбуз („эллипсоид Арбуз“), Монте Линас и других пунктов, выступы погруженного на глубину батолита
Палеозой (догранитный)	cf_1 ?	*Песчанистая толща и постготландские глинистые сланцы* (девон и нижний карбон?) района Флюмини Маджоре
	Si	Ордовикские и готландские сланцы, пересеченные гранитом и содержащие кварцевые рудоносные (свинцово-цинковые) жилы
	Si′	Базальные конгломераты нижнего силура, несогласно лежащие на дислоцированном среднем кембрии (Флюмини, Небида)
	cb_2	Глинистые сланцы среднего кембрия (слои с *Paradoxides Mediterraneus*), особенно хорошо сохранившиеся в ядрах дислоцированных синклиналей (Гуттуру Пала, Небида)
	cb_2	Рудоносные известняки и доломиты и герцинские месторождения
	cb_1	Песчанистая толща с *Olenopsis* с включениями доломитов и известняков, содержащих археоциатиты