

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ЕДИНСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
И РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

ЛЕНИНГРАД
1973

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
—
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

550.8 : 553.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

КРАТКИЕ ТЕЗИСЫ К СЕМИНАРУ «ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ»
(22—24 мая 1973 г.)

ЛЕНИНГРАД
1973



В сборнике содержатся тезисы докладов семинара, отражающие опыт и перспективы использования геологических, геофизических, геохимических методов исследования, а также методов глубинного геологического картирования при прогнозировании в процессе геологосъемочных (преимущественно крупномасштабных) работ; рассмотрены особенности прогнозирования при геологической съемке областей акваторий. Освещены принципы и методы прогнозирования главнейших видов полезных ископаемых, приводится оценка перспектив территории СССР.

Сборник рассчитан на геологов-съемщиков, а также других специалистов, занятых прогнозно-металлогеническими исследованиями.

Редакционная коллегия:

*Д. В. Рундквист (гл. редактор), А. И. Бочкарев,
В. С. Кормилицын, В. Л. Либрович, А. С. Кумпан,
В. М. Немцович, Ю. Е. Рыцк*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборнике публикуются тезисы докладов, подготовленных к семинару «Пути повышения эффективности прогнозов минерального сырья при геологосъемочных работах», организованному во ВСЕГЕИ в соответствии с приказом по Министерству геологии СССР № 62 от 20 февраля 1973 г.

Цель семинара — рассмотреть задачи и методы прогнозирования полезных ископаемых в процессе геологической съемки и пути повышения эффективности прогнозов. В соответствии с этим обсуждаются следующие основные вопросы:

1. Задачи и методы прогнозных исследований в процессе геологической съемки, а также при глубинном и объемном геологическом картировании рудных районов.

2. Критерии прогнозирования месторождений полезных ископаемых главнейших формационных типов.

3. Оценка перспектив территории СССР на важнейшие полезные ископаемые как основа перспективного планирования геологосъемочных работ.

Геологосъемочные работы являются первым звеном в цепи планомерных геологических исследований территории страны; на них затрачивается около 10% от общих ассигнований на геологоразведочные работы. Тем не менее именно геологическая съемка определяет геологическую изученность страны и в конечном итоге экономическое развитие отдельных районов.

В последние годы для повышения эффективности геологосъемочных работ был осуществлен ряд мероприятий: внедрены новые формы организации геологической съемки, направленные на увеличение роли поисковых работ; значительное развитие получило глубинное геологическое картирование и глубинное доизучение ранее заснятых площадей; издана серия методических указаний по крупномасштабной геологической съемке и серия брошюр по региональным и локальным критериям прогнозирования отдельных видов полезных ископаемых и др.

В настоящее время, когда геологи нашей страны, реализуя решения XXIV съезда КПСС, направляют свои усилия на расширение минерально-сырьевой базы страны, первейшей задачей является дальнейшее повышение эффективности геологической съемки. Значительные резервы для этого заключены в более полном использовании результатов металлогенических и прогнозных исследований как при выборе и обосновании территорий для проведения геологосъемочных работ, так и в процессе производства работ и на их заключительной стадии — при составлении карт закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых.

Различная геологическая изученность территории СССР — главных горнорудных районов страны, покрытых на 30—80% геологиче-

ской съемкой м-ба 1:50 000, и районов, экономически пока не освоенных, в которых только еще проводится геологическое картирование м-ба 1:200 000, — определяет различное соотношение между прогнозно-металлогеническими и геологосъемочными работами. Оптимальным вариантом является постановка средне- и крупномасштабных съемочных работ на основе обзорных мелко- и среднемасштабных прогнозно-металлогенических карт. Однако для хорошо изученных рудных районов возможен и другой вариант: составление на основе завершенных крупномасштабных геологических съемок средне- и крупномасштабных прогнозно-металлогенических карт. В итоге такого целеустремленного анализа геологических данных, направленного на выявление перспективных территорий, даются рекомендации по досъемке, постановке глубокой геологической съемки или специализированных геологосъемочных, геофизических или геохимических поисковых работ. Наконец, инструкциями по проведению геологической съемки м-ба 1:200 000 и 1:50 000 предусматривается осуществление параллельно с картированием комплекса прогнозно-металлогенических исследований, завершаемых составлением карт полезных ископаемых и прогноза.

В публикуемых докладах освещаются с разной степенью детальности результаты научных исследований ВСЕГЕИ и других организаций, проведенных за последние годы по указанным выше проблемам.

Первая часть сборника посвящена общим задачам и методам прогнозирования месторождений при геологосъемочных работах; вторая — критериям прогноза месторождений ряда важнейших формационных типов полезных ископаемых — стратифицированных свинцово-цинковых и медных, джаспероидных, сурьмяно-ртутных, золото-сурьмяных, медно-порфировых, медно-никелевых, колчеданно-полиметаллических, бокситов латеритных и карбонатных формаций, фосфоритов кремнисто-карбонатных и вулканогенно-кремнисто-карбонатных формаций и др.

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ

В. К. Еремин

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СССР

В настоящее время предпринимаются попытки разработать объективные критерии качественной и количественной оценки эффективности геологосъемочных работ с определением экономического эффекта от их проведения (А. И. Бурдэ, В. М. Фрейзон). Но пока эти исследования носят характер поиска. Наряду с этим сосредоточиваются усилия научных учреждений и производственных организаций Министерства геологии СССР на решении вопросов, направленных на повышение качества и практической отдачи геологосъемочных работ.

Среди этих вопросов важное значение для повышения эффективности геологосъемочных работ имеют:

1. Научно обоснованный выбор площадей для постановки первоочередных геологосъемочных работ, исходя из конкретных запросов народного хозяйства страны по выявлению конкретных видов полезных ископаемых в благоприятных географо-экономических и геологических условиях, а также новых рудных районов, выделяемых на основе научного прогноза.

2. Дальнейшее совершенствование геологосъемочных работ за счет применения наиболее рациональных методов и форм организации труда с учетом состояния геологической изученности, степени освещенности глубинного геологического строения, геологического задания и т. п. Новые методы (групповая геологическая съемка, глубинное картирование, различные разновидности доизучения) являются более производительными, экономичными и призваны давать оценку картируемых площадей в более короткие сроки.

3. Всестороннее обоснование геологических заданий геологосъемочных работ, которые должны предусматривать как получение высококачественной геологической основы, отвечающей современным требованиям оценки перспектив картируемых площадей на полезные ископаемые, так и проведение необходимых поисковых работ с первичной оценкой наиболее важных проявлений полезных ископаемых (как ранее известных, но своевременно не оцененных, так и вновь выявляемых).

4. Безусловное обеспечение полноты и должного качества выполнения предусмотренного геологическим заданием комплекса работ.

Практически эффективность проводимых геологосъемочных работ оценивается в настоящее время тремя факторами: оценкой качества составляемых геологических карт и отчетов в НРС ВСЕГЕИ

(м-б 1:200 000) и НТС геологических управлений (м-б 1:50 000) на основе заключений рецензентов; учетом важнейших геологических результатов геологосъемочных работ, которые ежегодно публикуются в соответствующих сборниках ВГФ; статистическим учетом выявляемых рудопроявлений и отчасти их разовым статистическим учетом, который был проведен по состоянию на 1959—1965 гг. и 1965—1969 гг. Данные этого учета свидетельствуют о повышении эффективности съемки.

Для повышения качества оценки результатов крупномасштабных геологосъемочных работ предусматривается создание ряда филиалов НРС ВСЕГЕИ, разработка и издание единых требований к содержанию и нагрузке основных геологических карт, создание системы тестов для оценки результатов геологосъемочных работ и др. Важное значение для всестороннего анализа показателей геологосъемочных работ, в том числе и для оценки факторов прогноза минерального сырья и учета выявляемых полезных ископаемых, имеет перфокартная система учета всех необходимых показателей.

Для повышения эффективности прогнозов минерального сырья при геологосъемочных работах важное значение имеют:

а) более углубленная научная разработка методов составления карт закономерностей размещения полезных ископаемых, а также прогнозных карт, составляемых на завершающем этапе геологосъемочных работ;

б) усиление работ по поискам и оценке полезных ископаемых, проводимых в комплексе с геологической съемкой, для чего нужно шире практиковать привлечение к оценке проявлений полезных ископаемых денежных средств за счет соответствующих отраслей;

в) поиски полезных ископаемых должны стать неотъемлемой частью всего состава геологосъемочных работ, при съемке должны обязательно решаться геологические вопросы, определяющие достоверность прогноза (полнота литолого-стратиграфического расчленения комплексов, решение структурных факторов, освещение глубин и т. п.).

Учитывая состояние геологической изученности, а также повышенные требования к планированию геологоразведочных работ с учетом прироста запасов прежде всего в экономически благоприятных районах страны, наиболее важными представляются следующие направления региональных работ:

1. Создание высококачественной крупномасштабной геологической основы, отвечающей современным требованиям оценки перспектив и поисков скрытого оруденения в освоенных и развивающихся горнорудных районах страны. Геологосъемочные работы должны проводиться наиболее эффективными и рациональными методами в зависимости от конкретных условий как путем обновления устаревших геологических карт, так и проведения глубинного доизучения или геологической съемки м-ба 1:50 000.

2. Продолжение геологосъемочных работ м-ба 1:50 000 на перспективных площадях в горноскладчатых районах страны с целью выявления новых металллоносных провинций и месторождений полезных ископаемых.

3. Осуществление глубинного геологического изучения закрытых территорий, где геологические комплексы, включающие твердые полезные ископаемые, перекрыты чехлом покровных образований мощностью от нескольких десятков до 500 м. Фронт перспективных площадей для таких работ исключительно велик: только по европейской части СССР он составляет около 700 тыс. км², по Зауралью и обрамлению горноскладчатых сооружений Казахстана и Средней Азии около 600 тыс. км². Указанные районы благоприятны для обнаружения месторождений бокситов, меди, никеля, полиметаллов, золота и других полезных ископаемых.

4. Изучение глубинной структуры наиболее важных горнорудных районов, таких, как Печенга, Хибины, Рудный Алтай, Центральный Казахстан, Магнитогорский синклиниорий, Мурунтау и др., с целью более обоснованного установления закономерностей формирования и распространения месторождений полезных ископаемых и более целенаправленного осуществления поисков месторождений, не выходящих на дневную поверхность. Такие работы должны проводиться на основе геолого-геофизических методов, данных космической и мелкомасштабной фотосъемки и бурения скважин глубиной до 3—5 км.

5. Завершение геологосъемочных работ м-ба 1:200 000 высокопроизводительными методами групповой и аэрофотогеологической съемок.

А. С. Кумпан

ЗАДАЧИ ПРОГНОЗНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТАДИИ КРУПНОМАСШТАБНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

В соответствии с «Основными положениями организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1:50 000» (1969) в процессе геологической съемки должны быть выявлены перспективы района на полезные ископаемые и выделены участки для производства последующих поисковых работ. Уже в подготовительный период геологами-съемщиками должна быть составлена предварительная карта полезных ископаемых с выделением на ней, по материалам предыдущих исследований, факторов, контролирующих размещение ископаемых, а также поисковые признаки (потенциально продуктивные горизонты и структуры, геофизические и геохимические аномалии и т. д.). В дальнейшем в ходе геологической съемки и поисковых работ продолжается изучение закономерностей размещения полезных ископаемых и составляются две карты: а) полезных ископаемых и б) закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза.

Некоторые геологи полагают, что на ограниченной площади крупномасштабной съемки невозможно выявить закономерности размещения полезных ископаемых, а поэтому и составить достаточно обоснованную карту прогноза.

С этим согласиться нельзя по трем причинам:

1. Частные элементы геологического строения, контролирующие размещение полезных ископаемых, могут быть выделены при съемке любого масштаба и на любой площади. Это, в частности, является задачей детальной (1:10 000—1:2000) съемки районов месторождений и даже подсчета запасов полезных ископаемых (выявление запасов по категории C_2).

2. Крупномасштабная съемка ведется на площадях, уже охваченных геологическими съемками м-ба 1:200 000, предварительными геофизическими съемками (аэромагнитными, аэрорадиометрическими, гравиметрическими), а часто и опережающими геологическую съемку литогеохимическими поисками. В результате всех этих работ устанавливаются главные полезные ископаемые района и основные закономерности их размещения, что и служит основанием для постановки геологической съемки м-ба 1:50 000 в данном районе.

3. Современная крупномасштабная геологическая съемка ведется, как правило, не на одном, а на трех-четыре-х номенклатурных листах,

а групповая — на 10—15, что облегчает выявление основных закономерностей размещения полезных ископаемых в районе.

В задачи геологической съемки м-ба 1:50 000 входит прогнозирование месторождений полезных ископаемых не только на поверхности, но и на глубине, поскольку территории, картируемые в этом масштабе, должны изучаться до глубины рентабельной эксплуатации месторождений главных полезных ископаемых. Для этих целей в настоящее время в ряде районов СССР (Украина, Тургайский прогиб и др.) ведется глубинное геологическое картирование (ГГК), основная задача которого состоит в выявлении перспектив обнаружения полезных ископаемых под покровом рыхлых отложений в фундаменте или перспективных горизонтов внутри платформенного или четвертичного чехла.

Таким образом, при геологической съемке м-ба 1:50 000 закрытых районов должны составляться карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозные карты для различных уровней (поверхности, глубинных горизонтов покрова и складчатого фундамента). Эти карты будут существенно различаться по содержанию, степени детальности и обоснованности фактическими данными.

В настоящее время практически разработаны требования к прогнозным картам поверхности. Главнейшие из них следующие:

1. В отличие от карты полезных ископаемых, где фиксируются прямые их признаки, на карте закономерностей их размещения и прогноза должны быть отражены представления исследователей района о связи месторождений с теми или иными геологическими факторами. Поскольку такие представления всегда в какой-то мере субъективны, на карте должны быть показаны все исходные данные, т. е. ее основой должна служить карта полезных ископаемых.

2. Специфической нагрузкой карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза являются факторы, контролирующие размещение полезных ископаемых, которые должны быть соответствующим образом выделены. Так, например, факторы стратиграфического, литологического и магматического контроля могут быть показаны интенсивной окраской контролирующих полезные ископаемые свит, горизонтов, фациальных разновидностей осадочных, вулканогенных и метаморфических пород, отдельных тел или комплексов интрузивных пород, в то время как породы, имеющие второстепенное значение для полезных ископаемых, окрашиваются бледным цветом. Тектонические нарушения, контролирующие размещение полезных ископаемых, должны показываться, в отличие от прочих, другим знаком или цветом, иной толщиной линий и т. д.

Кроме того, на картах закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов показываются поисковые признаки полезных ископаемых, выявленные при визуальном изучении обнажений, геофизических исследованиях, а также путем литохимического, гидрохимического, биогеохимического и других видов опробования (ореолы и потоки рассеяния, первичные геохимические и геофизические аномалии с разделением их по степени вероятности обнаружения месторождений).

Кроме геологических факторов (стратиграфических, литологических, тектонических и др.), непосредственно контролирующих по данным съемки полезные ископаемые, на таких картах могут найти отражение факторы, выявленные путем анализа геологической обстановки (расчета глубины эрозионного среза и вреза, палеогеографического, палеотектонического, геоморфологического и других видов анализа).

На основе всех перечисленных данных выделяются площади, перспективные на тот или иной вид полезных ископаемых.

Выделенные площади, участки и зоны разделяются по степени перспективности с указанием, где это возможно, прогнозных запасов. Последнее требование часто оспаривается на том основании, что геологическая съемка обычно не дает необходимых сведений для подсчета запасов. Однако, как правило, таких данных бывает недостаточно для подсчета запасов по промышленным категориям, тогда как для прогноза запасов вне этих категорий достаточно одного или нескольких пересечений, несколько проб полезного ископаемого и общегеологических соображений о перспективах распространения тел, содержащих полезные ископаемые. Во всяком случае, на картах прогнозов должна быть дана, по крайней мере, качественная сравнительная оценка перспективности отдельных участков (высоко-, средне-, малоперспективные и т. д.) и количественная — для возможного прироста запасов существующих месторождений.

Кроме того, на карте прогнозов необходимо отражать рекомендуемую очередность изучения участков, а в некоторых случаях и рекомендуемые места заложения горных выработок и скважин, профилей детальных геологических, геофизических и геохимических работ и т. д.

При умеренной нагрузке на карте закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза помещаются все сведения, но в большинстве случаев прогнозные площади и запасы следует выносить на прозрачные накладки к карте закономерностей размещения полезных ископаемых. При наличии в районе различных формационных типов полезных ископаемых следует составлять карты закономерностей их размещения и прогноза для каждого из этих типов в отдельности (карты угленосности, соленосности, меденосности и др.).

Изложенные выше принципы составления карт закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза для поверхности картируемого района в общем пригодны и для аналогичных карт глубинных горизонтов, с той лишь разницей, что последние будут содержать значительно меньше информации, а следовательно, степень достоверности выделения перспективных участков и определения прогнозных запасов на этих картах будет значительно ниже, чем на картах поверхности.

Пока трудно определить разницу масштабов карт закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, составляемых для поверхности и для глубинных горизонтов. По аналогии с геологическими картами глубинных горизонтов при съемке м-ба 1 : 50 000 будут отвечать приблизительно м-бу 1 : 100 000 или 1 : 200 000, однако имеется много обстоятельств, существенно влияющих на точность карт прогноза глубинных горизонтов. Главнейшие из них следующие:

1. Мощность и состав образований, перекрывающих перспективный уровень, для которого составляется карта.
2. Состав и степень дислоцированности образований, перспективных на полезные ископаемые.
3. Формационный тип полезных ископаемых, условия их залегания и т. д.
4. Степень изученности глубинных уровней геофизическими и буровыми работами.

Так, например, перекрывающие перспективный уровень покровные образования могут быть осадочными или вулканогенными, что имеет существенное значение для достоверности получаемых данных о глубинном геологическом строении.

Могут составляться прогнозные карты для горизонтов осадочных или вулканогенных образований в слабодислоцированном платфор-

менном покрове или для складчатого фундамента, что также в значительной мере влияет на достоверность этих карт.

Большое значение для достоверности прогноза на глубине имеет формационный тип полезных ископаемых (эндогенные или экзогенные, пластовые или жильные и т. д.), а также степень изученности глубинных уровней геофизическими и буровыми работами. При этом должна быть выделена глубина непосредственного изучения, где данные о закономерностях размещения полезных ископаемых подтверждены бурением, и глубина экстраполяции, где эти данные подтверждены лишь геофизическими материалами.

Различие указанных выше сведений будет характеризовать разную степень достоверности изучения различных глубинных горизонтов.

Поскольку глубинные горизонты изучаются неравномерно вследствие различной перспективности отдельных их участков, карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых глубинных горизонтов будут различаться по детальности на площади района съемки. Эти карты будут на 1-2 порядка мельче карт поверхности и разномасштабны на площади. Все это в значительной мере осложняет разработку общих требований ко всем картам глубинных горизонтов (геологической, полезных ископаемых и закономерностей их размещения и прогноза). Однако практически эти карты составляются и должны составляться во всех районах, где ведется глубинное геологическое картирование.

Так, например, в пределах Украинского щита при крупномасштабной съемке составляется серия карт для поверхности и глубинных горизонтов, в том числе геологические карты, карты полезных ископаемых и прогнозов для нескольких (1—3) горизонтов платформенного покрова, кор выветривания и складчатого докембрийского фундамента. Подобные карты составляются и для других слабо обнаженных районов СССР.

В опытном порядке ведется объемное геологическое картирование, основной целью которого является изучение поведения в пространстве контролирующих размещение полезных ископаемых элементов геологического строения.

Таким образом, задачи прогнозирования при геологической съемке м-ба 1:50 000 весьма сложны и многообразны. Они выражаются в получении представлений о закономерностях размещения полезных ископаемых в заданном пространстве от поверхности до глубины рентабельной их эксплуатации, выделении наиболее перспективных блоков (структур) для отыскания полезных ископаемых на поверхности и глубине и прогнозной оценки их запасов в пределах выделенных перспективных блоков (структур).

Следует, однако, отметить, что современное состояние прогнозирования полезных ископаемых на стадии геологической съемки не отвечает перечисленным выше задачам и является недостаточно эффективным по следующим причинам:

1. В процессе геологической съемки и поисков не уделяется должного внимания выявлению факторов, контролирующих размещение полезных ископаемых. При этом недостаточно используются современные методы выявления поисковых признаков и проверки полученных данных. Геолог-съемщик, как правило, не обладает необходимыми техническими средствами для проверки и выявления природы геофизических и геохимических аномалий, большая часть которых остается неизученной.

2. Геологическая съемка и поиски не достигают нужной глубины из-за малых объемов геофизических и буровых работ, вследствие чего остаются невыясненными перспективы глубинных уровней и возмож-

ности отыскания скрытых месторождений полезных ископаемых, что особенно важно для экономически развитых районов, в которых перспективы отыскания месторождений на поверхности уже малы.

3. Составляемые в результате геологической съемки прогнозные карты примитивны, не опираются на достаточно обоснованные закономерности размещения полезных ископаемых и не имеют, как правило, количественных показателей перспективности выделяемых участков.

Задачей дальнейших научно-исследовательских и производственных работ является повышение научного уровня и эффективности прогнозов на стадии геологической съемки путем преодоления перечисленных выше недостатков.

А. И. Бурдэ

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПОИСКОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИИ В СВЕТЕ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Важными вопросами методики прогнозных исследований являются оценка надежности прогнозов и разработка рекомендаций эффективных затрат на последующие геологоразведочные работы. Решение обоих вопросов связано с применением экономико-геологических моделей, хотя бы простейших.

Значение оценки степени опойскованности определяется индуктивным характером большинства методов прогноза, в связи с чем оценка перспектив в высокой степени зависит от степени изученности (опойскованности) района. С точки зрения прогнозных исследований необходима оценка изученности в двух основных аспектах: а) опойскованность района в отношении полезных ископаемых, известных в районе до проведения работ, и б) геологическая изученность, позволяющая экстраполировать сведения о полезных ископаемых сходных районов на рассматриваемую территорию. Эти аспекты далее кратко именуются соответственно оценкой опойскованности и оценкой изученности района.

Оценка опойскованности района основана на вероятностных моделях поисково-съемочного процесса. Согласно этим моделям, она определяется как вероятность обнаружения и достоверность выявления объекта поисков примененным комплексом методов. Методика определения этих показателей подробно описана автором (1972). Характеристики опойскованности зависят от перспективности района, особенностей полезного ископаемого и месторождения и т. п. в целом как объекта поисков, характеристик отдельных методов поисков примененного комплекса методов и объема работ или затрат по каждому методу. В табл. 1 приведены данные, характеризующие опойскованность одного из районов Сихотэ-Алиня в зависимости от особенностей метода, полезного ископаемого, его признаков и объема работ. Оценка опойскованности может служить не только для определения надежности прогноза полезных ископаемых, но может применяться и для расчета стоимости поисков месторождений полезных ископаемых в изучаемом районе. Методы расчета вероятности обнаружения и достоверности выявления объекта поисков позволяют легко определить ориентировочное количество поисковых усилий, а следовательно, и затрат средств, труда и времени, необходимых для обнаружения объекта поисков с заданными вероятностью обнаружения и достоверностью выявления.

Таблица I

Оценка степени опоскованности одного из районов Сихотэ-Алиня

Метод поисков	Кратность подсечения	Одиная плотность наблюдений (на 1 км ²)	Олово		Свинец		Цинк	
			Плотность наблюдений:					
			одинарная	двойная	одинарная	двойная	одинарная	двойная
<i>Поиски перспективных участков среднего размера (обычно месторождения)</i>								
Визуальный	3	2,4 пог. км	0,917	1,000	0,920	0,993	0,005	0,010
Электроразведка методом ЕП	3	2,0 пог. км	0,281	0,478	0,281	0,478	0,000	0,000
Магниторазведка	3	2,0 пог. км	0,751	0,938	0,751	0,938	0,189	0,343
Литогеохимический: по олову	10	30 проб	0,995	1,000	0,994	1,000	0,000	0,000
по свинцу	10	30 "	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
по ртути	10	30 "	0,000	0,030	0,000	0,000	1,000	1,000
Гидрогеохимический: по сульфат-иону	5	5 "	0,982	1,000	0,983	1,000	0,983	1,000
по сумме металлов	5	5 "	0,993	1,000	0,993	1,000	0,173	0,309
Шлиховой	5	5 "	0,998	1,000	0,281	0,483	0,998	1,000
Общая степень опоскованности	—	—	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Поиски перспективных участков минимального размера (большой частью рудопоявления)

Визуальный	3	2,4 пог. км	0,198	0,430	0,202	0,361	0,122	0,220
Электроразведка методом ЕП	3	2,0 пог. км	0,058	0,123	0,086	0,160	0,000	0,000
Магниторазведка	3	2,0 пог. км	0,131	0,251	0,131	0,248	0,060	0,123
Литогеохимический: по олову	10	30 проб	0,139	0,268	0,131	0,322	0,000	0,000
по свинцу	10	30 "	0,302	0,508	0,300	0,524	0,000	0,000
по ртути	10	30 "	0,000	0,000	0,000	0,000	0,952	1,000
Геогидрохимический: по сульфат-иону	5	5 "	0,237	0,422	0,244	0,428	0,030	0,063
по сумме металлов	5	5 "	0,244	0,427	0,256	0,453	0,122	0,218
Шлиховой	5	5 "	0,198	0,610	0,068	0,130	0,975	1,000
Общая степень опоскованности	—	—	0,944	0,979	0,789	0,964	0,998	1,000

Оценка изученности имеющихся сведений для оценки перспектив территории в целом и отдельных перспективных участков в ее пределах должна включать рассмотрение следующих вопросов: достаточность перечня элементов полезных ископаемых, на выявление которых были направлены работы, полноту собранных сведений, соответствие их современному уровню изученности территории и развития геологической науки, методическую правильность ранее проведенных работ, новизну, практическую и научную ценность полученных результатов и т. д. Такая оценка может быть проведена лишь с помощью экспертизы материалов. Объективность экспертизы повышается с применением метода экспертных оценок, позволяющих выразить мнения экспертов в количественной форме, учитывая относительную важность отдельных показателей, степень квалифицированности экспертов и степень устойчивости их мнений. Для поисковых работ м-ба 1:10 000—1:25 000 система количественной экспертной оценки разработана сейчас Л. Г. Шербаченко (КАЗИМС). Результаты ее опробования вполне удовлетворительны.

Вопрос о пределах эффективных затрат на изучение прогнозируемых перспективных площадей и эффективности этих затрат должен представлять конечную цель любого прогноза, поскольку он тесно связан с вопросом рентабельности прогнозных работ.

Представим процесс прогноза и поисков в виде нескольких последовательных стадий, каждая из которых характеризуется постепенным увеличением детальности исследований, количеством прогнозируемых участков, специфическими вероятностями успеха, т. е. открытия промышленного месторождения в пределах выделяемых перспективных участков, ожидаемыми размерами месторождений и стоимостью работ. Соотнесение стоимости работ на каждой ступени с их экономическим эффектом позволяет говорить о допустимых затратах на их поиски и разведку. При определении экономического эффекта следует отдельно учитывать эффект положительных и отрицательных результатов работ и неизбежный в геологоразведочном деле поисковый риск.

Экономический эффект работ по прогнозу и поискам полезных ископаемых может выражаться: а) в выделении новых перспективных участков (благоприятные сочетания элементов геологического строения, геофизические и геохимические аномалии и т. д.), в пределах которых могут быть открыты новые месторождения или рудные тела, и б) в уточнении ранее известных перспективных площадей (в частном случае признание их бесперспективными), что приводит к экономии средств на стадиях процесса, следующих за рассматриваемой. Эффект от открытия новых перспективных участков может быть назван условным доходом (D_{yc}), а от уточнения известных — условной экономией (\mathcal{E}_{yc}). Условный доход будет определяться формулой

$$D_{yc} = \sum_{(i,j)} P_{ij} C_{ij} T_j,$$

а условная экономия

$$\mathcal{E}_{yc} = R_{h+1} (S_{h-1} - S_h),$$

где C_{ij} — ожидаемые запасы j -того полезного ископаемого на i -том участке; P_{ij} — вероятность выявления месторождения j -того полезного ископаемого на i -том участке; T_j — стоимость единицы полезного ископаемого в недрах (или нормативная общая стоимость геологоразведочных работ на единицу полезного ископаемого); R_{h+1} — стоимость изучения единицы площади на стадии, следующей за рассматриваемой; S_{h-1} — общая площадь перспективных участков, выделенных на стадии, предшествующей рассматриваемой; S_h — общая площадь перспективных участков, выявленных на рассматриваемой стадии в пре-

делах перспективных участков, выделенных на предшествующей стадии.

Общий экономический эффект k -той стадии прогнозных и поисково-съемочных работ может быть определен как сумма условного дохода и условной экономии этой стадии:

$$R_k = D^{yc}_k + \Theta^{yc}_k.$$

Наиболее сложными для определения исходными данными являются сведения о предполагаемых запасах полезного ископаемого C_{ij} . Для их оценки можно использовать аналогии со сходными районами или математические методы (так, канадские геологи применяют в этих целях регрессивный анализ и классификации на основе формулы Байеса (Жоффре, 1971). Может применяться и иной подход, когда прогнозируются не ожидаемые запасы, а ожидаемое распределение месторождений по размерам (Алле, 1957; Блондель, 1956). В этом случае в расчетах учитываются только месторождения, превышающие заданный из экономических соображений минимальный размер. Количество таких месторождений определяется на основе прогнозируемого распределения.

Для каждой стадии геологоразведочных работ поисковый риск может быть учтен по крайней мере в трех возможных вариантах: наиболее благоприятного (отмечаемого индексом F), среднего (M) и наименее благоприятного, т. е. минимально приемлемого (D).

Для рассматриваемого случая рационально выделять четыре основные стадии процесса прогноза и поисково-съемочных работ:

- 1) прогноз перспективных зон и участков;
- 2) поиски перспективных участков в процессе поисково-съемочных работ;
- 3) оценка перспективных участков при поисково-съемочных работах и прогнозных исследованиях в ходе обработки их материалов;
- 4) поисково-разведочные и разведочные работы, полностью оценивающие значимость выявленных участков как месторождений (в принципе эту стадию можно развернуть в несколько более дробных).

При символической записи модель может быть охарактеризована следующими группами показателей (с учетом возможности различных исходов работ на каждой стадии):

а) вероятности успеха

$$P_{1D} < P_{1M} < P_{1F}$$

$$P_{2D} < P_{2M} < P_{2F}$$

$$P_{3D} < P_{3M} < P_{3F}$$

$$P_{4D} < P_{4M} < P_{4F};$$

в) оценка стоимости отдельных частей процесса

$$f_{1D} < f_{1M} < f_{1F}$$

$$f_{2D} < f_{2M} < f_{2F}$$

$$f_{3D} < f_{3M} < f_{3F}$$

$$f_{4D} < f_{4M} < f_{4F}$$

Итого: $F_D < F_M < F_F$

б) количество перспективных участков или месторождений в районе

$$N_{1D} < N_{1M} < N_{1F}$$

$$N_{2D} < N_{2M} < N_{2F}$$

$$N_{3D} < N_{3M} < N_{3F}$$

$$N_{4D} < N_{4M} < N_{4F};$$

г) оценка экономического эффекта работ

$$r_{1D} < r_{1M} < r_{1F}$$

$$r_{2D} < r_{2M} < r_{2F}$$

$$r_{3D} \leq r_{3M} < r_{3F}$$

$$r_{4D} < r_{4M} < r_{4F}$$

Итого: $R_D < R_M < R_F$

Величины стоимости геологоразведочных работ по стадиям можно получить из статистических данных. Вероятности успеха могут быть определены путем вычисления вероятностей успеха обнаружения (А. И. Бурдэ, 1972; И. Д. Савинский, 1964; О. Г. Семенова, К. П. Белякова, 1964), по статистическим данным об успехе работ в различных районах СССР и за рубежом (Роско, 1971) и по данным исследования плотности распределения месторождений по площади, которые показывают долю ячеек, не содержащих перспективных участков (табл. 2).

Таблица 2

Плотность распределения по площади месторождений и проявлений полезных ископаемых

Количество рудопроявлений и месторождений в элементарной ячейке	Регион									
	Казахстан		Алтай		Забайкалье		Сихотэ-Алинь		Киргизия (один из районов)	
	Размер ячейки									
	1400 км ²		1400 км ²		900 км ²		100 км ²		16 км ²	
количество ячеек	часть	количество ячеек	часть	количество ячеек	часть	количество ячеек	часть	количество ячеек	часть	
0	174	0,321	65	0,220	89	0,207	58	0,165	95	0,373
1	63	0,120	30	0,104	79	0,183	57	0,161	29	0,112
2	37	0,071	30	0,104	56	0,130	37	0,104	27	0,104
3	34	0,065	21	0,073	59	0,137	21	0,059	19	0,074
4	25	0,48	21	0,073	38	0,088	21	0,059	17	0,066
5	17	0,32	22	0,076	25	0,058	27	0,076	10	0,039
6	22	0,042	25	0,090	12	0,058	24	0,068	9	0,035
7	16	0,031	13	0,045	20	0,046	12	0,034	3	0,012
8	11	0,021	11	0,038	12	0,028	9	0,025	4	0,015
9	8	0,015	16	0,055	15	0,035	9	0,025	5	0,019
10	9	0,017	6	0,021	5	0,011	11	0,031	7	0,027
11	15	0,029	4	0,014	5	0,011	6	0,017	5	0,019
12	9	0,017	7	0,024	0	0,000	9	0,025	4	0,015
13	8	0,015	3	0,010	1	0,002	14	0,039	2	0,008
14	12	0,023	0	0,000	1	0,002	8	0,022	4	0,015
15	4	0,008	3	0,010	1	0,002	5	0,014	4	0,015
16	4	0,008	1	0,003	0	0,000	3	0,008	4	0,015
17	4	0,008	2	0,007	0	0,000	2	0,003	2	0,008
18	6	0,011	2	0,007	1	0,002	9	0,025	0	0,000
19	1	0,002	1	0,003	0	0,000	1	0,003	3	0,012
20	2	0,004	1	0,003	0	0,000	1	0,003	1	0,004
Более 20	42	0,092	3	0,010	11	0,000	11	0,031	4	0,015

Количество перспективных участков и месторождений, в известной степени коррелирующееся с вероятностями успеха на начальных стадиях рассматриваемого процесса, является показателем, наиболее сложным для определения. Начальные сведения о нем должны быть получены в результате прогнозных исследований, для чего используется определение плотности месторождений на какую-либо элементарную ячейку района, сходного с рассматриваемым, и распространение полученных данных на изучаемый район. Можно применять и математические методы, например регрессионный анализ (Жоффри, Вигнол, 1971), вид которых определяется детальностью рассматриваемых работ. Последующие значения N_k также могут быть получены эмпирически, математическими методами или путем расчета по формуле $N_k = P_{k-1} N_{k-1}$, где N_{k-1} — количество, а P_{k-1} — вероятность успеха на стадии, предшествующей рассматриваемой. Эмпирические данные могут быть получены из статистических сведений об успехе работ на различных стадиях или путем изучения плотности распределения месторождений при ра-

ботах разной детальности. В качестве примера приведем некоторые сведения о распределении плотности месторождений в районах различной изученности (табл. 2), показывающие долю бесперспективных площадей. Результаты наших исследований и литературные данные (Блондель, 1956) показывают, что средняя плотность месторождений на 1000 км² — величина весьма устойчивая и колеблется для значительных территорий всего лишь в пределах 0,40—0,80 месторождения.

Приведенные модели определяют и некоторые требования к результатам прогнозных исследований, необходимые для проведения описанных расчетов.

Основой определения количества затрат, необходимых для обнаружения объекта поисков, являются модели объекта поисков в данном районе, т. е. модели месторождений и тел полезных ископаемых, ожидаемых в районе прогноза. Для определения этих величин необходима, кроме того, и характеристика ошибок первого и второго рода, присущих методам поисков в районе. Эти данные могут и должны быть обязательными результатами любых прогнозных исследований (естественно, что с изменением детальности прогноза будет меняться понимание объекта поисков).

Для оценки пределов затрат на изучение прогнозируемых районов и их возможной эффективности прогнозные исследования также должны дать ряд исходных материалов. К ним в первую очередь относятся: прогноз ожидаемого количества перспективных участков, проявлений и месторождений полезных ископаемых (в зависимости от стадии исследования района) и количества полезных ископаемых либо в виде прогнозируемых запасов, либо в виде прогнозируемого распределения месторождений по размерам. Менее важна, но весьма желательна оценка возможных вероятностей успеха работ на каждой стадии.

*Е. К. Станкевич, В. В. Жданов, В. Н. Москалева, В. М. Немцович,
Д. М. Орлов, Н. А. Румянцева, Б. Я. Хорева*

ФАЦИАЛЬНО-ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В познании геологических процессов все большее значение приобретает метод формационного анализа, ставящий своей целью комплексное изучение естественных ассоциаций горных пород, основанное на определении их вещественного состава, строения, а также генетических (парагенетических) связей и геологических условий формирования. Формационный анализ магматических пород и фациальный анализ метаморфических комплексов играют важную роль в методике прогнозирования полезных ископаемых на разных его стадиях. Характерная для отдельных магматических формаций связь с определенным типом полезных ископаемых обуславливает широкое использование формационного метода в металлогенетическом анализе и прогнозировании. Задачи формационного и фациального анализа и его методы определяются масштабом исследований и прогнозирования полезных ископаемых.

При мелкомасштабных региональных геологических исследованиях и составлении сводных геологических и специализированных карт производится обобщение фактического материала в пределах крупных геоструктурных элементов — складчатых областей, платформ и др. Формационный анализ сводится к установлению общих формационных

признаков магматических образований, характеризующих тот или иной формационный тип.

Формационный анализ магматических образований, помимо использования общеизвестных критериев, предполагает широкое привлечение материалов аэрофотосъемки, геофизических исследований, а также данных по фациально-формационному анализу осадочных пород. В региональном плане это позволяет выявлять закономерности размещения магматических формаций (комплексов) в пределах крупных структур, а также уточнять структурно-формационное районирование. Знание эмпирически установленных закономерностей связей магматических формаций с определенными типами полезных ископаемых дает возможность использовать структурно-формационное районирование в качестве основы при составлении мелкомасштабных прогнозно-металлогенических карт.

Фациальный анализ метаморфических комплексов при мелкомасштабных геологических обобщениях и составлении обзорных карт ставит своей целью выделение закономерных ассоциаций метаморфических пород, определение их структурного положения и места в истории развития региона. Одной из важнейших задач фациального анализа метаморфических комплексов при любой масштабности исследования является установление первичной природы метаморфических пород, т. е. исходных пород, испытавших метаморфические преобразования. Это позволяет восстановить историю формирования древних структур, а также правильно оценить металлогеническую специализацию конкретных метаморфических комплексов. Например, амфиболиты, сформировавшиеся по мергелистым отложениям, практически не сопровождаются рудными месторождениями, в то время как амфиболиты, развитые по основным эффузивам, могут сопровождаться метаморфизованными колчеданными и медно-колчеданными месторождениями, а также месторождениями железистых кварцитов.

При среднемасштабном прогнозировании задачей формационного анализа является выделение конкретных магматических комплексов (конкретных формаций) и определение их положения в структуре того или иного района. Главнейшими признаками, характеризующими конкретный магматический комплекс (вулканический или плутонический), являются: петрографический состав парагенетической ассоциации пород и характер их связей; геологические условия проявления (фациальная характеристика); петрохимическая и геохимическая характеристика; метасоматические изменения пород; связь комплекса с рудными и нерудными полезными ископаемыми; приуроченность к структурам определенного типа; время проявления и место в истории геологического развития района. По совокупности признаков устанавливается принадлежность магматических комплексов к определенному формационному типу.

Формационная принадлежность может рассматриваться как один из возможных критериев потенциальной рудоносности. Например, широко известны ассоциирующие с кератофир-спилит-диабазовой формацией колчеданные и медноколчеданные месторождения; с габбро-периidotитовой формацией — месторождения платиноидов, хризотил-асбеста, талька; с перидотит-пироксенит-норитовой формацией — медно-никелевые, платиновые и титано-магнетитовые месторождения.

Формационный анализ при среднемасштабном прогнозировании предусматривает изучение закономерностей распределения геологических тел (пояса, цепочки, поля и т. д.), определение их связи с элементами разрывной и складчатой тектоники, выяснение основных черт внутреннего строения, а также решение вопроса о глубине формирования и величине эрозионного среза. Для вулканических комплексов изучаются типы разрезов и их мощности. Необходимо привлекать ма-



териалы по дешифрированию аэрофотосъемки, среднемасштабные геофизические материалы, данные шлиховой съемки и т. д., т. е. весь комплекс данных, в той или иной мере характеризующих как условия размещения и формирования геологических тел той или иной формации, особенности их состава, так и данных, характеризующих прямые поисковые признаки, используемые при прогнозировании в данном масштабе.

Таким образом, на основании изучения внутренних свойств и связей элементов магматических формаций и выявления закономерных соотношений с ними распределения и концентраций рудных компонентов могут быть установлены признаки геохимической и металлогенической специализаций этих элементов формаций (в частности, геологических тел, их совокупностей, т. е. комплексов и др.).

Фациальный анализ метаморфических комплексов при среднемасштабном прогнозировании предусматривает выявление границ между зонами распространения различных фаций метаморфизма и выяснение их природы. Необходимо изучение структуры областей регионального развития метаморфических толщ, для которых могут быть выделены моно- и полифациальные комплексы с однократным или многократным проявлением метаморфизма, а также ультраметаморфические комплексы.

Установлена зависимость интенсивности рассеяния рудных элементов от степени регионального метаморфизма, что обуславливает возможность концентрации этих элементов в зонах низких ступеней метаморфизма (фация зеленых сланцев). Такого типа метаморфогенные месторождения формируются только в структурах, где развита полная и одновозрастная метаморфическая колонка (полифациальный монометаморфический комплекс), что наблюдается в типичных раннепротерозойских (реже позднепротерозойских) структурах.

При крупномасштабном прогнозировании предусматривается дальнейшая детализация материалов среднемасштабного формационного анализа естественных ассоциаций пород и прежде всего изучения вещественного состава и условий формирования членов этих ассоциаций. При детальном прогнозировании объектами исследования чаще всего могут быть отдельные массивы, вулканические и метаморфические толщи, для которых необходимо уточнение принадлежности к тому или иному комплексу и формационному типу и, главным образом, выяснение тонких особенностей строения, состава, залегания и др.

При этом могут быть поставлены задачи выявления: а) важных для прогнозирования рудных объектов элементов внутреннего строения интрузивных массивов, вулканических и метаморфических толщ (зональность, расслоенность и др.); б) возрастных взаимоотношений пород; в) благоприятных для локализации оруденений фаций; г) особенностей петрографического состава, петрохимической и геохимической характеристик пород этих фаций и др.

Необходимо иметь в виду, что фациальный характер исследуемого объекта, отражающий условия формирования пород, играет наиболее важную роль при крупномасштабном прогнозировании полезных ископаемых. Практика показывает, что наиболее перспективными на широкий комплекс полезных ископаемых в районах проявления вулканизма оказываются магматические образования субвулканических и жерловых фаций и сопровождающие их поля гидротермально-измененных пород. Большое значение имеет и определение глубины эрозионного среза интрузивных тел.

Разные по уровню эрозионного вскрытия плутоны одного типа часто настолько сильно отличаются по составу и рудоносности, что могут ошибочно рассматриваться в качестве различных комплексов, принадлежащих к разным формациям. Установление глубины эрозионного

среза интрузивных тел во многом основывается на знании особенностей внутреннего строения (типа зональности) плутонов, использовании определенных геологических, петрографических, минералогических и других признаков уровня эрозионного вскрытия. Особенно значительные изменения состава и рудоносности по разрезу плутонов характерны для крупных сложно дифференцированных основных и ультраосновных интрузий, а также для массивов щелочно-ультраосновной карбонатитовой формации. Так, для расслоенных основных интрузий перидотит-пироксенит-норитовой формации намечается уменьшение снизу вверх по разрезу роли ультраосновных пород. В составе вертикальных глубоко эродированных базитовых интрузивов преобладают ультраосновные дифференциаты со свойственным для них малотитанистым титаномagnetитовым оруденением, а также хромитовой и сульфидно-никелевой минерализацией; в составе массивов малого эрозионного среза преобладают лейкократовые габброиды и анортозиты, нередко с обособлениями диоритов и гранодиоритов с высокотитанистым ильменит-титаномagnetитовым оруденением, иногда с сульфидами меди и апатитом.

Для целей прогнозирования полезных ископаемых следует использовать степень дифференцированности магматических образований и метаморфических толщ. Например, среди формаций базальтового ряда выделяются два типа: недифференцированный (или слабо дифференцированный) и дифференцированный с контрастной или последовательной сменой пород. С образованиями первого типа могут быть связаны только месторождения исландского шпата, тогда как для второго известны колчеданные и колчеданно-полиметаллические месторождения (для геосинклинальной группы) и месторождения ртути, золота, серебра, свинца, цинка, меди, флюорита (для орогенной группы). Для интрузивных формаций степень дифференцированности как критерий рудоносности наиболее отчетливо обнаруживается для щелочно-ультраосновных комплексов.

Детальный фациальный анализ метаморфических толщ и выделение полифациальных моно- и полиметаллических комплексов с картированием изоград метаморфизма, характеризующих термодинамические условия существования парагенетических ассоциаций минералов, позволяют определить локализацию возможных метаморфогенных и метаморфогенно-гидротермальных месторождений полезных ископаемых. Установлено, что золоторудное месторождение Мурун-Тау приурочено к периферической зоне так называемой термальной антиклинали и локализуется в зоне изограды биотит-мусковита.

Из кратко охарактеризованных выше различных аспектов формационного и фациального анализа магматических и метаморфических пород в связи с прогнозированием полезных ископаемых в разных масштабах вытекают и способы отражения на прогнозных картах различных признаков формационной и фациальной принадлежности — от показа формаций и обобщающих групп формации на мелкомасштабных картах до показа отдельных элементов формаций высшего порядка и отдельных фаций на крупномасштабных картах. Очевидно, что разный масштаб формационного и фациального анализа позволяет использовать его при прогнозировании рудных провинций, зон (обзорные мелкомасштабные карты), при прогнозировании рудных полей, узлов (среднемасштабные карты) и, наконец, месторождений и отдельных рудных тел (крупномасштабные карты). Однако при всех масштабах формационного анализа ведущим остается изучение вещественного состава породных ассоциаций, их строения (структуры) и условий образования.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

Современная геоморфология основывается на главном теоретическом положении о взаимодействии эндогенных и экзогенных факторов в процессе морфолитогенеза, о направленном и цикличном развитии рельефа литосферы. Это положение позволяет выяснить сложную динамику рельефообразования и в ряде случаев оценить конкретные проявления полезной минерагении и наметить соответствующие поисковые признаки.

Особенность геоморфологической информации заключается в ее непрерывности в латеральном направлении. Использование аэро- и топоматериалов, получаемых в процессе инструментальной съемки, обеспечивает развитие не только качественных, но и количественных методов исследования. По мере накопления знаний возрастает «глубинность» разрешающей способности геоморфологических методов. Все более очевидными становятся связи характера рельефа с положением границ слоев литосферы и верхней мантии.

Широкое использование геоморфологических данных в практике прогнозирования и поисков полезных ископаемых является одним из путей резкого повышения эффективности прикладных исследований. К сожалению, сфера активного применения геоморфологических данных до сих пор ограничивается кругом вопросов, связанных только с поисками россыпей, нефтеносных структур и реже гипергенных месторождений. Автор единственной монографии по прикладной геоморфологии Т. В. Звонкова (1970) вынуждена констатировать, что геоморфология, в области закономерностей размещения полезных ископаемых и их выявления, находится пока в стадии регистрации фактов. Несмотря на отсутствие единой методологии геолого-геоморфологических исследований, уже сейчас можно выделить основной круг вопросов и те направления, в которых геоморфологические данные могут оказать существенную помощь при прогнозировании. Отечественная геоморфология владеет достаточно разнообразным арсеналом методических приемов, которые могут использоваться (и частично используются) при прогнозной оценке территорий и поисках полезных ископаемых. Важнейшими из них являются геоморфологическое картирование, структурно-геоморфологический анализ (включая морфометрические построения) и палеогеоморфологические реконструкции.

Упомянутый методический комплекс подробно освещен в печати и не нуждается в дополнительных пояснениях. Отметим лишь, что методика морфоструктурного анализа успешно развивается и приносит большую практическую отдачу, особенно при нефтепоисковых работах. Палеогеоморфологическая методика, хотя еще и находится в стадии становления, также весьма эффективна при прогнозировании экзогенных и эндогенных месторождений. Геоморфологическое картирование, подобно геологической съемке, является фундаментом всех последующих исследований. В связи с этим следует отметить, что в последние годы большинство исследователей перешли от картирования морфогенетических типов к картированию генетически однородных граней рельефа, что дало возможность глубже подчеркнуть их эндогенную предопределенность.

Разработанная во ВСЕГЕИ Г. С. Ганешиним, В. В. Соловьевым, Ю. Ф. Чемяковым (1972) генетическая легенда отражает разнообразные связи рельефа с геотектоническими факторами морфогенеза.

Остановимся на основных направлениях и объектах геоморфологических исследований при прогнозировании, оттенив новые и недостаточно еще освещенные вопросы методики. В зависимости от поставленной задачи геоморфологические данные могут быть разделены на три группы:

- 1) непосредственно направленные на выявление перспективных объектов;
- 2) обеспечивающие выявление обстановок, наиболее благоприятных для обнаружения месторождений, рудопроявлений и т. п.;
- 3) дополняющие негеоморфологические методы прогнозирования.

Геоморфологические данные, способствующие непосредственному выявлению перспективных объектов

Принципиальная возможность обнаружения ряда месторождений по геоморфологическим критериям основана на проявлении в чертах современного рельефа характерных (обычно косвенных) признаков этих месторождений.

Геоморфологические методы получили наибольшее применение при поисках нефтеносных структур. В нефтеносных бассейнах с молодым тектоническим рельефом, имеющим прямые связи с пликативными структурами, перспективные объекты могут оконтуриваться уже в процессе детальной геоморфологической съемки.

Отмеченные приемы могут быть использованы также при поисках месторождений, связанных с галогенными формациями, обычно находящими заметное выражение в рельефе благодаря высокому диапирическому эффекту.

Концентрация продуктивных толщ экзогенных полезных ископаемых, как правило, происходит в понижениях рельефа. С древними депрессиями, долинами, карстовыми полостями ассоциируются многие месторождения как металлических, так и неметаллических полезных ископаемых. При обнаружении такого рода месторождений в пределах потенциально перспективных площадей необходимо провести детальные геоморфологические исследования. Выделение унаследованно (от продуктивных эпох) развивающихся элементов рельефа на таких площадях дает дополнительный геоморфологический критерий поиска.

В процессе детальной съемки особое внимание должно быть обращено на анализ угловых и стратиграфических несогласий. Эти структурно-тектонические элементы одновременно являются и палеогеоморфологическими элементами, фиксирующими плоскости устойчивого денудационного размыва в прошлом — важнейшего объекта, потенциально перспективного в отношении гипергенной и гипогенной минерализации. Реконструкция позиции плоскости палеоденудационного среза позволяет наметить базисы древней аккумуляции и положение сопряженного с ними зеркала подземных вод — верхнего предела образования стратиформных залежей. Таким образом, данный палеогеоморфологический элемент может рассматриваться как реперный, определяющий, с одной стороны, локализацию и пространственное размещение гипергенных месторождений, а с другой — позицию верхнего предела развития гипогенной (стратиформной) минерализации.

Необходим учет геоморфологических данных и при изучении магматических месторождений. Процессы избирательной денудации трансформируют устойчивые разности пород в виде положительных микро- и макроэлементов рельефа. В том случае, когда рудные тела связаны с устойчивыми породами приконтактных зон, даек, жильных образований и жерловых фаций, пространственное положение их может корректироваться путем геоморфологических наблюдений.

Геоморфологический анализ может оказаться полезным и при исследовании нескрытых месторождений (в частности, сульфидного типа). Благодаря энергичному выщелачиванию и выносу элементов из зоны окисления рудных тел, на экспонированной поверхности нередко образуются надрудные понижения, которые в пределах рудных полей служат геоморфологическими индикаторами.

Еще более существенна роль геоморфологических данных при выявлении закономерностей полезной минерагении эпохи четвертичного морфолитогенеза. С этой эпохой связано образование большого количества месторождений экзогенных полезных ископаемых как неметаллических (соли, стройматериалы, торфяники), так и металлических (россыпи золота, олова и др.). Объективная связь россыпей с рельефом признается всеми исследователями и отражается во всех классификациях (Ю. А. Билибин, Н. А. Шило и др.). Позиция других видов полезных ископаемых в сфере четвертичного морфолитогенеза освещена значительно хуже.

Представляется, что наиболее полные сведения о размещении и формировании обоих типов месторождений могут быть получены на базе формационного анализа четвертичных отложений. Конкретный набор формаций, входящих в латеральные ряды и формационные ассоциации, определяется главным образом неотектоническим режимом (отраженным в основных чертах рельефа) и климатической зональностью. Особенности проявления этих двух факторов контролируют ту или иную формационно-седиментологическую обстановку, от которой во многом зависит характер полезной минерагении четвертичных отложений. Такого рода зависимость отражает четко устанавливаемую связь экзогенных полезных ископаемых с вмещающими толщами. По отношению к последним они могут быть разделены на категории ортогенных и интрагенных полезных ископаемых. К ортогенным относятся полезные ископаемые, возникающие непосредственно в процессе формирования литогенетических типов отложений и по своему объему нередко совпадающие с последними (торфяники, глины, пески, стройматериалы и пр.). Интрагенные полезные ископаемые, в противоположность ортогенным, составляют незначительную часть вмещающих толщ и присутствуют в них в виде карманов, струй, линз и т. п. (россыпи золота, олова, алмазов и пр.). Эти полезные ископаемые могут перемещаться из одного генетического типа отложений в другой, не теряя своей значимости. Как полезный компонент они обычно возникают задолго до формирования вмещающих их отложений.

Наиболее благоприятными для широкого распространения ортогенных ископаемых являются формационно-седиментологические обстановки платформенных равнин (торфяники, пески, стройматериалы в зоне оледенений; лессы, пески, глины — в экстрагляциальной зоне).

Формационная обстановка предгорных равнин на гетерогенном основании и умеренно приподнятых хребтов и нагорий с реликтами поверхностей выравнивания весьма благоприятна для образования и сохранения интрагенных полезных ископаемых. Стабильные условия криогенеза в этой обстановке особенно способствуют образованию россыпей металлов. Именно в таких условиях происходило накопление богатых россыпей золота Забайкалья и Северо-Востока СССР.

Геоморфологические данные, направленные на выявление обстановок, благоприятных для обнаружения месторождений

Эта группа морфологических данных помогает установить оптимальные для поиска месторождений ситуации применительно к структурной и палеогеоморфологической позиции территории, а также в отношении степени ее денудационного вскрытия.

Для выяснения роли структурного контроля (как пликативного, так и дизъюнктивного) важно изучить закономерности пространственного размещения геоморфологических линеаментов (гетерогенных, но связанных эндогенной предопределенностью прямолинейных элементов рельефа).

Особого внимания заслуживают выражающиеся в рельефе купольные и кольцевые структуры, многие из которых, по мнению И. Н. Томсона и М. А. Фаворской, являются рудоконтролирующими. Возникновение их связывается с мобилизацией и подъемом магматических масс, с вулканоплутонической или вулканической деятельностью. Исследования показывают, что помимо магматогенно обусловленных форм существует обширная группа конфокальных структур, связанная с импульсной разрядкой напряжений на отдельных энергогенерирующих центрах (В. В. Соловьев, 1972). Они ограничены конически сходящимися к единой оси системами трещин и разломов. Проекция на дневную поверхность этих ослабленных зон и предопределяют возникновение геометрически правильных концентрических элементов морфоструктур, отмеченных окварцеванием, гидротермально измененными породами, жилами, малыми интрузиями и т. п. Эти зоны повышенной трещиноватости и разломов нередко служат подводящими каналами для рудоносных флюидов и растворов. Отсюда следует особо важная роль геоморфологического поиска такого рода объектов. Однако сравнительно легко дешифрируются только формы, активно развивающиеся в неотектонический этап. Выявление структур древнего заложения, очень слабо выраженных в современном рельефе и часто секущихся нетектоническими элементами, требует дополнительных исследований. Для этого может быть использован специальный прием, условно названный нами методом дирекционных аномалий геоморфологических линеаментов. Сущность его заключается в составлении фоновой схемы неотектонических линеаментов, выявлении на ней элементов, закономерно отклоняющихся от генерального простирания, и оконтуривании (с учетом закона подобия) аномальных изометрических полей. Проведенные с привлечением геолого-геофизических данных исследования позволили установить широкое распространение, разновозрастность возникновения и различную глубину заложения такого рода структур. Интересно, что при этом намечается связь конфокальных структур с геофизическими границами раздела земной коры и верхней мантии.

Зоны повышенной трещиноватости и разломов, определяющие радиально-концентрический каркас морфоструктур, нередко служили подводящими каналами для рудоносных растворов и флюидов. На составленной автором совместно с В. М. Рыжковой карте установлена закономерная приуроченность к ним более 60% крупных месторождений золота, редких металлов, алмазов и других полезных ископаемых. Анализ этого рода структур в различных геотектонических областях СССР приводит к выводу, что они, наряду с горстами и грабенами, могут рассматриваться как типичные структуры эпох тектоно-магматической активизации.

При изучении глубины денудационного среза (параметра, позволяющего в первом приближении оценить вероятность проявления экспонированной эндогенной рудоносности) необходимо иметь четкое представление, по отношению к каким потенциально перспективным объектам и для какого геохронологического интервала ведется исследование.

Для определения относительной глубины денудационного среза геоморфологическими методами можно использовать представление о стадийности развития рельефа на интрузивных массивах (В. В. Соловьев, 1968, 1971). Установлено, что в зависимости от глубины денудационного вскрытия на интрузивных телах возникает тот или иной

характерный рельеф, отражающий структурно-литоморфную неоднородность различных частей плутонов. В первую стадию препарировки возникает положительная, конформная интрузиву морфоструктура. Во вторую стадию (при значительном денудационном срезе) единая до этого морфоструктура распадается на серию останцов. Третья стадия характерна для наиболее глубокого уровня вскрытия плутона, в пределах которого возникает обращенный рельеф. Попутно отметим, что эта же методика позволяет проследить зоны эндо- и экзоконтактов, а также выделить разнофазовые тела в пределах сложных интрузивных массивов.

Критерий линейного эрозионного вреза, как правило, выпадает из поля зрения. Необходимость учета и этого геоморфологического показателя при прогнозной оценке территории следует из эмпирически устанавливаемой прямо пропорциональной зависимости экстенсивности экспонированного оруденения от плотности и глубины эрозионного вреза.

Геоморфологические данные, дополняющие другие методы поиска, прогноза и перспективной оценки территорий

Надежность и эффективность прогнозов, получаемых при проведении геофизических, геохимических, гидрогеологических и других исследований, значительно возрастает при региональном комплексировании их с геоморфологическими работами. Очевидно, что конкретный набор геоморфологических приемов определяется целевыми задачами и спецификой научного направления. Опыт комплексирования морфоструктурных и петрофизических исследований применительно к поиску слепых месторождений изложен в статье Э. Я. Дубинчик, В. К. Путинцева и В. В. Соловьева, помещенной в данном сборнике.

Использование геоморфологических данных при прогнозировании позволяет судить и конкретизировать площади участка, что обеспечивает значительную экономию средств. Ю. Я. Кузнецовым и К. А. Ушко (1967) подсчитано, что применение структурно-геоморфологической методики при поисках нефти в Прикаспии позволило на 90% сократить объем дорогостоящих сейсморазведочных работ.

Н. Н. Боровко, М. Г. Илаев, М. В. Семенов, Л. Е. Шоло

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

Применение геофизических методов повышает эффективность и глубинность металлогенических исследований и позволяет перейти к объемному изучению рудоконтролирующих элементов геологического строения. Эти методы приобретают решающее значение при изучении геологического строения и металлогении районов, частично или полностью перекрытых рыхлыми отложениями, покровами эффузивов и т. п. Однако и в хорошо обнаженных районах геофизические данные дают дополнительный материал о геологическом строении площади, особенно ее глубинных горизонтов.

Основным фактическим материалом, используемым в целях металлогенических и прогнозных исследований, являются результаты наземных и аэромагнитных съемок м-ба 1 : 50 000—1 : 25 000 и гравиметровых съемок м-ба 1 : 200 000—1 : 50 000, которые должны завершиться до начала геологической съемки. Кроме того, должны быть использованы дан-

ные детальных геофизических съемок, проводимых в процессе геолого-съемочных работ.

Ввиду относительно редкой сети наблюдений геофизических съемок, выполняемых главным образом на стадии опережения, они не могут обеспечить выявления рудных тел большинства полезных ископаемых даже в том случае, если последние резко отличаются от вмещающих пород по физическим свойствам, хотя случайное выявление аномалий от рудных тел по единичным профилям не исключается. Не оставляя без внимания эти единичные аномалии, дальнейшее изучение которых в конечном итоге может привести к открытию промышленных месторождений, основной упор необходимо сделать на выявление и изучение элементов геологического строения, так или иначе контролирующих размещение месторождений полезных ископаемых и при благоприятных физико-геологических условиях достаточно четко проявляющихся в виде специфических геофизических полей. Эти поля могут быть различными в зависимости от конкретных условий проведения работ.

Имеющийся опыт свидетельствует о высокой эффективности использования геофизических методов при изучении рудоконтролирующих факторов и закономерностей размещения основных месторождений различных эндогенных рудных формаций. Месторождения определенной рудной формации, расположенные в различных металлогенических провинциях и поясах, образуются в сходных геологических условиях и контролируются сходными элементами геологического строения, которые аналогично отражаются в физических полях. В частности, можно отметить ряд общих закономерностей в размещении оруденения хромитовой и медно-никелевой рудных формаций и в соответствии с этим ряд общих принципов интерпретации геофизических материалов. Месторождения обеих формаций пространственно и генетически тесно связаны с интрузиями гипербазитов, внедрившихся вдоль крупных разломов земной коры. Гравиметровые и магнитные карты мелкого масштаба успешно используются для выделения глубинных разломов, съемки среднего и крупного масштабов — для картирования интрузивных массивов, определения их морфологии, разделения дифференцированных интрузивных комплексов, изучения разрывных нарушений внутри массивов и в их окрестностях, контролирующих богатые руды. Сходные закономерности и принципы интерпретации геофизических материалов сохраняются и при металлогенических исследованиях магматических месторождений железотитановой и медно-титаномагнетитовой рудных формаций, также тесно связанных с интрузиями основного — ультраосновного состава.

Новым эффективным направлением геофизических исследований является изучение связи наблюдаемых аномалий и их совокупностей с рудными полями. Геофизические аномалии или их сочетания создаются сложными группировками природных объектов: крупных и мелких рудных проявлений, зон окolorудных изменений пород и т. д., контролируемых определенными структурами, образующими рудные поля.

Исследования показали, что для рудных полей колчеданно-полиметаллического типа существуют характерные классификационные признаки: пониженные или спокойные магнитные поля, повышенные поля вызванной поляризации и пониженные поля удельного электрического сопротивления над зонами измененных пород, положительные локальные остаточные аномалии ускорения силы тяжести и гравитационные ступени, аномалии естественного электрического поля I порядка, аномалии метода переходных процессов (при небольшой глубине залегания), температурные аномалии в скважинах, структурный контроль над размещением оруденения и всех геофизических аномалий на расстоянии 1—3 км от ближайшего интрузивного (гранитоидного) массива.

Разработанные М. В. Семеновым классификационные признаки рудных полей можно использовать при оценке площадей, опоскованных

комплексом геолого-геофизических методов в м-бах 1 : 25 000—1 : 10 000 на промышленную перспективность.

Учет особенностей рудных полей колчеданно-полиметаллического типа позволил также определить, какие геофизические методы наиболее перспективны для поисков рудных полей, залегающих на глубинах более 100—150 м (в том числе под наносами большой мощности), или для выявления и прослеживания отдельных крупных рудных скоплений, представляющих собой самостоятельные части или так называемые ветви внутри изучаемого рудного поля.

Для поисков глубоко залегающих рудных полей наиболее эффективен, по-видимому, метод вызванной поляризации, позволяющий обнаруживать и в некоторых случаях оконтуривать в объеме обширные зоны гидротермально-измененных пород, входящих в состав рудных полей. По имеющимся (пока предварительным) данным, для рудных полей месторождений меди, олова, золота, ртути и железа характерны те же основные особенности физических полей, что и для месторождений колчеданно-полиметаллического типа. Это позволяет усовершенствовать методы и методики прогноза путем изучения и использования особенностей геологического строения рудных полей и соответствующих им геофизических образцов.

Важную роль при металлогенических исследованиях играют петрофизические данные, которые являются основой объективной интерпретации геофизических данных, а также позволяют судить о термодинамических условиях кристаллизации магматических комплексов, характеризующихся специфическими физическими параметрами, и уточнять металлогеническую специализацию магматических образований. Вопросы использования петрофизических данных подробно освещаются в докладе В. К. Путинцева и Э. Я. Дубинчик.

Детальные исследования остаточной намагниченности горных пород в ряде случаев дают новый интересный материал, проливающий свет на условия кристаллизации магматических образований, следовательно, позволяют более объективно интерпретировать петрофизические данные.

При геофизических методах металлогенических исследований целесообразно количественно обработать исходные данные. Это позволяет выделить информацию, наиболее значительную для решения соответствующей конкретной металлогенической задачи, и, что особенно важно, выявлять слабо проявленные критерии локализации оруденения, которые обычными способами устанавливаются с трудом.

Можно представить себе две основные схемы применения количественных методов при обработке геофизических данных в связи с задачами металлогенических исследований.

А. Описание известных рудоконтролирующих факторов в виде определенной связи размещения месторождений с теми или иными особенностями пространственного распределения физических свойств пород и с соответствующими им особенностями физических полей.

Этот путь исследования не может привести к выявлению каких-то новых металлогенических закономерностей. Он пригоден лишь на этапе проверки применимости известных закономерностей в данной провинции или районе и на этапе прогнозирования — построения прогнозных карт, особенно при прогнозе на слабо изученных (например, плохо обнаженных) участках.

Б. Формальный путь выявления рудоконтролирующих факторов по геофизическим данным, включающий следующую последовательность операции:

1. Описание исходных полей некоторым стандартным набором характеристик (трансформант).

2. Выяснение «рудоконтролирующей роли» этих характеристик по их формальной информативности в данной задаче (оценивается количественно).

3. Изучение геологических причин преимущественной приуроченности оруденения к участкам с информативными (в указанном смысле) особенностями физических полей.

Этот путь может привести к выявлению новых, ранее неизвестных металлогенических закономерностей. На прогнозно-металлогенических картах в ряде случаев оказывается целесообразным (хотя это и оспаривается рядом специалистов) отражать такие формально выделенные «рудоконтролирующие факторы», даже если они не получили еще достаточно надежного геологического объяснения.

Практически используются различные сочетания операций двух указанных схем, как и при традиционных способах металлогенических исследований, не включающих каких-либо количественных оценок.

Опыт применения количественных методов при прогнозировании рудных месторождений в ряде рудных районов и провинций показывает, что удовлетворительные результаты получаются со следующим стандартным набором трансформаций.

А. Сложные поля (магнитное поле, данные наземной съемки, поля сопротивлений, геохимические поля):

1. Сглаженные значения.
2. Характеристика неоднородности.

Б. Простые (гладкие) поля (гравитационное поле, магнитное поле, данные воздушной съемки):

1. Локальные аномалии.
2. Характеристика неоднородности.
3. Горизонтальные градиенты.

В. Характеристики комплекса данных (векторного поля):

1. Неоднородность поля и выделение участков его редких значений.
2. Изменение силы и знака корреляции между отдельными признаками.

Для многих типов эндогенных месторождений (особенно для крупных) характерна преимущественная приуроченность к участкам с высокими значениями градиентов гравитационного поля, осложнения зон высоких градиентов, участки сложных неоднородных полей, редких сочетаний комплекса признаков.

Информативность признаков может оцениваться с помощью различных способов. Области применимости разных способов пока не определены. Но во многих случаях результаты не очень сильно зависят от типа применяемого алгоритма.

Прогнозные выводы, получаемые с помощью перечисленных приемов, удовлетворительно согласуются с имеющимися геологическими представлениями. Проверка их горными и буровыми работами свидетельствует о достаточно высокой эффективности методики прогнозирования.

Опыт показывает, что при выборе признаков и эталонов месторождений необходимо обращать большое внимание на зависимость признаков от глубины залегания и масштаба месторождения.

При составлении металлогенических и прогнозных карт построения, сделанные на основе геологических исследований, представляются совместно с результатами геофизических данных. Последние изображаются как достоверные (если в пределах характерных физических полей получен фактический геологический материал, подтверждающий правильность их истолкования) или как предполагаемые (если геологических данных недостаточно). Наряду с выходами геологических тел в эрозионном срезе на картах должны отражаться элементы глубинного геологи-

ческого строения: изогипсы кровли скрытых интрузий, стратоизогипсы опорных горизонтов, контуры глубинных магматических очагов и т. п.

На металлогенических и прогнозных картах, помимо месторождений и рудопроявлений различного генезиса, следует показывать локальные геофизические аномалии и аномальные зоны, перспективность которых доказана геофизическими, геохимическими или геологическими предпосылками.

Е. Е. Белякова, Н. Н. Васильева, Ф. Л. Думлер, Н. А. Цыкункова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

1. На современной стадии изученности территории СССР научно обоснованное прогнозирование невозможно без привлечения геохимических методов. Комплекс геохимических методов, применяемый при геологических съемках крупных масштабов для целей прогнозирования на рудные полезные ископаемые, определен «Основными положениями проведения геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000» (1969). В него входят литогеохимические, гидрогеохимический, биогеохимический, атмогеохимический методы и геохимические исследования зон окисления. В развитие «Основных положений» составлены и опубликованы «Методические указания» (серия выпусков, 1968—1972), где рассмотрены методические вопросы проведения геохимических исследований, охарактеризованы возможности разных методов и круг вопросов, к решению которых они могут быть привлечены.

Особенности производства геологосъемочных работ (охват значительных территорий, многообразие природных условий и геологических объектов вместе с необходимостью определенной детальности и глубинности их изучения) выдвигают ряд требований к комплексным геохимическим исследованиям. Главными в их числе являются следующие.

а. Система методов геохимического опробования должна выбирать с учетом необходимости одновременного получения максимума информации о минеральном составе как обнаженных частей горных пород, так и недоступных для непосредственного наблюдения. Это достигается путем сочетания глубинных (гидрохимического, атмогеохимического) методов с опробованием горных пород складчатого комплекса и фундамента в обнажениях, горных выработках, скважинах в большинстве районов СССР. В условиях аридной зоны, где водоисточников мало, в комплекс включается биогеохимический метод, а в районах с густой эрозионной сетью и развитием аллохтонных образований — метод донных осадков. В районах с широким распространением гипергенно измененных пород в комплекс вводятся геохимические исследования новообразований кор выветривания и зон окисления.

б. Аналитические данные и принципы их обработки для последующей прогнозной интерпретации должны обеспечить воспроизводимость и однозначную информативность геохимических признаков, чтобы иметь возможность сопоставлять результаты геохимического опробования, выполненного на разных планшетах и в разное время. Это исключает определение в геохимических пробах лишь отдельных элементов и компонентов, как это часто делается при поисках, формальный подход к обработке аналитических данных (оценка аномалий по статическим параметрам без изучения их геохимической природы), а также неполное извлечение геохимической информации из аналитических данных — использование в качестве прогнозных признаков отдельных элементов

сложных многокомпонентных природных систем без учета закономерностей их распространения и поведения в различных природных средах, определяющих корреляционные связи между множеством признаков.

2. При правильной организации и проведении геохимических исследований и должной обработке аналитических данных геохимическая информация оказывает существенную помощь при выяснении закономерностей формирования, локализации и преобразования рудных концентраций в структурах земной коры. Эти вопросы решаются на основании анализа распределения химических элементов и характера связей между ними в геологических образованиях. В итоге такого анализа необходимо выяснить закономерности распределения химических элементов и корреляционные связи между ними, обусловленные различными процессами, сингенетическими эндогенными (магматизм) и экзогенными (седиментогенез, диагенез); эпигенетическими эндогенными (динамотермальный, контактовый, гидротермальный метаморфизм и др.) и экзогенными (гипергенез, катагенез).

В качестве геохимических признаков характера и направленности син- и эпигенетических процессов в геологических образованиях, водах, растениях выступают совокупности химических элементов или компонентов, для распределения которых в исследуемой среде наиболее вероятно подчинение близким закономерностям. Такие совокупности называются геохимическими ассоциациями. В ассоциациях находятся как элементы (компоненты) породообразующих (включая и акцессории), так и рудообразующих минералов с их примесями. Хотя сочетание элементов этих двух групп в разных породах весьма разнообразно, однако в этом разнообразии отмечаются определенные закономерности. Например, рудные элементы в ассоциациях, характеризующих процессы сингенеза и диагенеза осадочных пород, а также разные стадии кристаллизационной дифференциации магм и сопровождающих ее пневматолитовых процессов в магматических породах, находятся в положительной корреляции (разной степени в зависимости от гипергенной измененности пород) с элементами главных породообразующих и акцессорных минералов.

Геохимическая специфика пород отражается минимально аномальными или нормальными для пород данной формации концентрациями рудных элементов при незначительной вариации их концентраций в геохимическом поле. Металлогенетическая специализация пород характеризуется как средне- и максимально аномальными концентрациями рудных элементов в геохимическом поле, так и резкой дифференцированностью их распределения в его пределах. Элементы, появившиеся в породах в ходе более поздних эпигенетических процессов, объединяются в самостоятельные частные ассоциации, которые в зависимости от характера процесса и состава вмещающих пород либо присоединяются на поздних циклах корреляции к элементам сингенетической группы, либо образуют самостоятельные подассоциации. Последние наиболее характерно для жильных гидротермальных серий средне-низкотемпературных стадий минералообразования.

Геохимические поля пород, подвергавшиеся эпигенетическим, особенно эндогенным, изменениям, характеризуются резкой дифференцированностью распределения элементов, участвующих в процессах рудогенеза, и геохимической зональностью. Для экзогенных эпигенетических ассоциаций характерны связи рудных элементов с элементами коллоидных и метаколлоидных минеральных новообразований, характерных для зоны гипергенеза (например, связь Mn с Ag , Fe с Be , Cu с Al и Si и т. д.). Многие халькофильные элементы, особенно элементы с переменной валентностью в геохимических процессах (Mo , As , Sb , Cu), а также никель, цинк и др. образуют в корях выветривания и зонах окисления аномальные концентрации накопления, а в рыхлых образованиях — вто-

ричные ореолы, не всегда правильно отражающие металлогенические характеристики исходных пород.

Изучение распределения и связей между элементами в новообразованиях зон гипергенеза помогает отличать гипергенные ореолы накопления от рудных. Геохимические и металлогенические характеристики горных пород и руд находят отражение в ассоциациях элементов и компонентов химического состава вод, золы растений, донных осадков и литогипергенных образований зон окисления и кор выветривания. В этих средах, наряду с отмеченными выше типичными гипергенными ассоциациями, сохраняются независимые группы элементов (компонентов), характерные для коренных пород. Например, для щелочных лейкогранитов с редкометальной минерализацией грейзенового типа характерны аномальные концентрации Be, W, Mo, Sn, Bi, а также высокие корреляционные связи между этими элементами. Аналогичная ассоциация с соответствующими породам уровнями аномальности концентраций сохраняется в водах, литогипергенных образованиях и растениях. В литогипергенных образованиях и в водах элементы этой группы связаны между собой, а также с железом и марганцем, а в растениях — с фосфором и марганцем. В донных осадках Be и W связаны между собой и с элементами гипергенных новообразований (Fe, Ni, Mn, Al), а Bi и Mo образуют самостоятельную группу более подвижных компонентов водной миграции.

3. Выяснение закономерностей распространения и характера связей между компонентами, обусловленных сингенетическими процессами в геологических образованиях, позволяет выявить геохимические свойства последних, оценить их геохимическую и, в ряде случаев, сингенетическую металлогеническую специализацию. Выступающие на фоне сингенетических геохимических характеристик пород особенности распределения элементов и связей между ними позволяют охарактеризовать эпигенетическую металлогеническую специализацию пород, а по распространению соответствующих частных (рудных, металлогенных) ассоциаций элементов по площади — выделить зоны эпигенетического привноса — выноса рудного вещества.

Зоны эпигенетического привноса рудного вещества являются прямым геохимическим признаком металлогенических зон, рудоконтролирующих формаций, структур (разломов, зон смятия, очагов магматизма и т. д.). Такие зоны в различных ландшафтно-геологических условиях хорошо выделяются и прослеживаются в обнаженном или перекрытом наносами складчатом комплексе по гидрохимическим признакам, а именно, по распространению на площади района природных вод с определенными типами металлогенных гидрохимических ассоциаций. В настоящее время их установлено более двадцати. Индикаторные группы таких ассоциаций отражают поэлементный состав устойчивых минеральных ассоциаций руд различных формаций и наиболее тесно корреляционно связаны между собой в структуре гидрохимической ассоциации в целом.

Биогеохимические ассоциации в общем сходны с гидрохимическими, что позволяет использовать биогеохимические данные для выделения и прослеживания по площади зон эпигенетического привноса элементов на закрытых аллохтонными отложениями территориях аридной зоны совместно с гидрохимическими данными. Это позволяет более правильно истолковать гидрохимические данные. В связи с развитием в первых от поверхности земли водоносных комплексах ассоциаций гидрохемогенного накопления в таких районах, биогеохимические данные помогают отличать гидрохимические аномалии накопления от рудных, что способствует повышению правильности прогнозов. При интерпретации биогеохимических данных необходимо учитывать влияние на распределение химических элементов в растениях защитного физиологического барьера. Его действие проявляется в аккумуляции растения-

ми не характерных для эпигенетической минерализации элементов-примесей в породообразующих минералах.

4. Опытные-методические работы показали эффективность проведения в хорошо обнаженных районах сравнительно равномерного опробования коренных пород (1,5—2,0 тыс. проб на один лист масштаба 1 : 50 000). В районах, где условия обнаженности не позволяют провести такое опробование по всей площади, целесообразно опробование обнаженных участков, скважин и горных выработок, особенно на аномальных участках, выявленных другими методами (геофизическими, гидрогеохимическими, атмогеохимическими), а также на активных контактах, в зонах измененных пород и других потенциально рудоносных площадях. Эти исследования проводятся для уточнения природы аномалий, оценки степени их перспективности, выявления генетических взаимоотношений геологических тел, выделения и детализации зон привноса.

5. Комплексное геохимическое изучение территорий, особенно со сложным геологическим строением и металлогенией, способствует выявлению новых видов минерального сырья и повышает правильность оценки перспектив расширения сырьевой базы уже известных в районе полезных ископаемых, так как вносит существенные коррективы в оценки формационной принадлежности рудной минерализации. Рассмотрим это на примерах.

а. В районе одного из месторождений грейзеновой формации в результате опробования пород складчатого комплекса при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в пределах крупной зоны эпигенетического привноса было выделено девять подзон, контролирующих редкометалльную (Mo, Sn, Bi, W, Be), полиметаллическую (Pb, Cu, Zn) и, по-видимому, золото-сульфидную (Ag) минерализации. Подзоны отражены сериями линейных геохимических аномалий разной интенсивности (от $\bar{X} + S \leq X_i < \bar{X} + 3S$ до $X_i \geq \bar{X} + 3S$), соответствующих очагам гидротермального рудоотложения вдоль разломов северо-западного и северо-восточного направлений, в узлах пересечения которых расположены редкометалльные месторождения. Наиболее интенсивные аномалии с ассоциацией элементов редкометалльных руд связаны с надинтрузивными зонами посторогенных лейкогранитов. По мере удаления от их кровли в сторону экзоконтакта заметно возрастает относительная роль в аномальных полях ассоциации цветных металлов, что отражает зональное размещение по горизонтали и по вертикали характерных для разнотемпературных стадий минералообразования комплексов элементов. Зональность значительно усиливается там, где вмещающими интрузивными породами являются терригенно-карбонатные толщи, и слабо выражена там, где они представлены гранитоидами. Анализ геохимической зональности позволил обосновать перспективность ранее забракованных участков и выделить ряд новых. В итоге на флангах известного месторождения после завершения работ открыты новые рудные тела. Кроме того, в районе выявлено кольцевое геохимическое поле с олово-ниобиевой ассоциацией, соответствующее кольцевой структуре размещения субвулканических образований кислого состава. Проявления такой минерализации ранее здесь не были известны, хотя район был покрыт металлометрической съемкой масштаба 1 : 10 000.

Крупная зона эпигенетического привноса, в пределах которой были проведены вышеописанные литогеохимические исследования, в региональном плане простирается далеко за пределы района съемки, что установлено путем анализа гидрохимических данных. Она выделилась зональным гидрогеохимическим полем северо-западного простирания. От краевых частей поля к центральному сменяются в водах молибдено-свинцово-стронциевая, сурьмяно-свинцово-цинковая и молибденово-бериллиевая ассоциации. Дальнейшая детализация этой зоны по гидро-

химическим признакам в ландшафтных условиях этой местности нецелесообразна, так как требует проведения буровых работ в связи с малым количеством естественных водоисточников.

б. На юге Сибири один из участков по аномальным концентрациям свинца и цинка в рыхлых элювиально-делювиальных образованиях был оценен как перспективный на полиметаллическое оруденение. Этот участок сложен кембрийскими терригенно-карбонатными сильно измененными (окремненными, омарганцованными и т. д.) породами, контактирующими с гипабиссальными и излившимися образованиями основного, ультраосновного и смешанного состава. За пределами аномального участка в разломах развиты дайки лампрофиров и небольшие штоки лейкогранитов (Т—J). Детальными поисково-разведочными работами перспективность этого участка на полиметаллическое оруденение не подтвердилась. Позднее здесь были проведены комплексные геохимические исследования: гидрохимическое опробование в пределах структурной зоны (на площади 25 км² было отобрано 30 проб воды), литогеохимическое опробование коренных пород и биогеохимические исследования на аномальном по свинцу и цинку в рыхлых отложениях участке (на площади 2 км² отобрано 35 литогеохимических и 44 биогеохимических проб). В пределах зоны, по результатам анализа гидрохимических данных, развита не полиметаллическая, а телетермальная молибденит-галенитовая с флюоритом и золотосодержащим халцедоном минерализация. Эта минерализация отразилась в водах фторидно-щелочной молибденово-свинцово-серебряной ассоциацией, в индикаторной группе которой корреляционно связаны Pb, H₂SiO₃, F, NH₄, Mo, K, Ag. Данная минерализация, по-видимому, связана с поздними стадиями эпигенетических преобразований пород основного и ультраосновного состава в период альпийской тектоно-магматической активизации. Более ранние стадии преобразования отразились в водах структурной зоны ассоциацией корреляционно связанных элементов, характерных для редкометальных щелочных габброидов (Al, Be, Co, V, Fe, Zr, Y, Ni, Cr). На аномальном участке только молибден находится в средне и минимально аномальных концентрациях, а концентрации других элементов не поднимаются выше минимально аномальных (водный ореол рассеянной минерализации в породах). В других частях структурной зоны имеются участки с признаками редкометальной минерализации (Mo, Sn, W).

Анализ литогеохимических данных показал, что аномальные концентрации свинца и цинка в рыхлых образованиях обусловлены накоплением этих элементов в гипергенных новообразованиях коры выветривания кембрийских пород. Это подтверждается положительной корреляцией между Cu, As, Zn и Fe, между Zn, Ni, Co, Ag и Mn, а также средним уровнем аномальности концентрации Pb, Cu, Mo, Zn в коренных породах. На этом участке также развиты щелочные редкометальные габброиды, характеризующиеся сочетанием в геохимической ассоциации Mo, Be с Fe и минимально аномальными концентрациями этих элементов, что подчеркивает фиксированность этих элементов в образованиях коры выветривания.

О накопительной природе концентраций свинца и цинка в рыхлых отложениях аномального участка свидетельствуют и биогеохимические данные. В биогеохимической ассоциации отмечается корреляция Mo, Pb с Fe, Ni, Zn, причем только концентрации цинка достигают средне аномальных. Остальные элементы находятся в растениях в минимально аномальных и фоновых количествах.

Таким образом, если бы комплексные геохимические исследования на этой территории были проведены до разведочных работ, то последние можно было бы ориентировать иначе как в отношении типа ожидаемой рудной минерализации, так и конкретных участков для проведения детальных поисково-разведочных работ.

6. Для ряда горноскладчатых областей СССР во ВСЕГЕИ составлены карты металлоносности природных вод, использование которых перед проектированием геологосъемочных работ крупного масштаба может способствовать более целеустремленному направлению литогеохимических исследований при съемке. Кроме того, в территориальных геологических организациях накоплен большой аналитический материал по породам, образованиям зон окисления известных месторождений, растениям и природным водам. Извлечение из этого материала дополнительной информации до проектирования крупномасштабных геологосъемочных работ поможет более правильной их организации, что повысит их экономический и прогнозный эффект.

Е. А. Басков

ПАЛЕОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

1. При прогнозировании месторождений полезных ископаемых важное значение имеют палеогеологические реконструкции, обобщающие весь комплекс данных, получаемых в процессе геологосъемочных работ. С деятельностью подземных вод в течение геологического времени связано формирование месторождений различных полезных ископаемых (гидротермальных, скарновых, колчеданных, нефти, горючих газов и др.). В познании закономерностей их распространения в пределах изучаемой территории большая роль принадлежит палеогидрогеологическим исследованиям, позволяющим воссоздать (с разной степенью детальности) гидрогеологические условия, существовавшие во время формирования месторождений. Наиболее целесообразно проведение палеогидрогеологических реконструкций в регионах с широким развитием осадочных и вулканогенно-осадочных толщ (в современных и ранее существовавших артезианских структурах) для эпох вулканизма и интенсивных тектонических движений.

2. Палеогидрогеологический анализ условий формирования гидротермальных, скарновых, колчеданных и других месторождений, связанных с деятельностью подземных вод разного генезиса, дает возможность синтезировать и рассматривать во взаимосвязи все материалы, получаемые при геологосъемочных работах масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). Это позволяет более обоснованно (по сравнению с другими методами) проверить существующие и выявить новые критерии их прогноза. Палеогидрогеологические исследования должны предшествовать составлению «Карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза».

3. Необходимость осуществления палеогидрогеологических реконструкций при прогнозно-металлогенических исследованиях была осознана уже давно. Однако внедрение их в практику геологических исследований оказалось возможным лишь в последние годы, после того как были выявлены основные черты водоносности геологических формаций для районов с различными тектоно-магматическими и физико-географическими условиями. Именно эти данные создали научную основу для палеогидрогеологических реконструкций в складчатых областях, в пределах которых гидрогеологические условия в течение геологического времени претерпевали наибольшие изменения в результате процессов складчатости, магматизма, метаморфизма и др.

4. Исходные материалы для палеогидрогеологических исследований могут быть подразделены на две основные группы. К первой относятся палеотектонические, палеогеографические, палеоклиматологические и другие сведения об истории геологического развития территории. Они

позволяют вскрыть наиболее общие для характеризующего геологического времени гидрогеологические закономерности (произвести гидрогеологическое районирование, наметить основные черты гидрохимической зональности и т. п.).

Вторая группа включает в себя объекты, возникшие в результате деятельности подземных вод (жильные образования, разнообразные метасоматические изменения горных пород, карстовые образования и т. п.). На основе этих материалов могут быть восстановлены самые различные данные о подземных водах (состав, температура, пути миграции и др.), вызвавших наблюдаемые эпигенетические явления в горных породах.

Методы палеогидрогеологических исследований в соответствии с исходными данными также подразделяются на две группы:

а) методы регионального палеогидрогеологического анализа основаны главным образом на использовании данных палеотектоники, палеогеографии, палеоклиматологии, региональной гидрогеологии с применением принципа актуализма;

б) методы, основанные на изучении объектов геологической деятельности подземных вод (жильных образований, метасоматитов и т. п.).

5. Палеогидрогеологические реконструкции должны начинаться с восстановления региональных гидрогеологических закономерностей. В результате анализа и обобщения материалов по истории геологического развития территории выделяются структурно-гидрогеологические этапы, существенно различающиеся строением и планом геологических структур, характером магматических процессов и, как следствие этого, гидрогеологическими условиями. Для каждого намеченного этапа палеогидрогеологические реконструкции начинаются с выделения основных типов водоносных комплексов пород, различающихся по вещественному (и литолого-фацциальному) составу и условиям скопления (залегания) подземных вод в горных породах. Этим реконструкциям должны предшествовать палеотектонические исследования. При восстановлении условий скопления подземных вод в горных породах целесообразно придерживаться классификации, разработанной И. К. Зайцевым (1961). Далее рассматриваются закономерности распространения выделенных основных типов водоносных комплексов (как по площади, так и в разрезе геологических структур) и производится структурно-палеогидрогеологическое районирование территории для конечных стадий характеризующего этапа. При этом выделяются районы преимущественного распространения пластовых вод (артезианские бассейны), районы преимущественного распространения трещинных вод (гидрогеологические массивы и т. п.). Эти исследования сопровождаются построением палеогидрогеологических карт, профилей, сводных разрезов (в зависимости от степени изученности территории).

6. Для выделенных гидрогеологических структур производится реконструкция водоносности пород.

а) При восстановлении степени водообильности горных пород для прежних геологических эпох коллекторские свойства их определяют по аналогии, исходя из современных данных о пористости и проницаемости горных пород, имеющих близкий петрографический состав и характеризующихся сходными условиями залегания.

б) Минерализация и химический состав подземных вод восстанавливаются как по материалам палеогеографического анализа (на основе данных о составе захороняющихся иловых вод в бассейнах седиментации), так и материалам региональной гидрогеологии (на основе выявленных взаимосвязей между осадочными и вулканогенно-осадочными формациями горных пород и условиями их водоносности для различных частей разреза артезианских структур). В верхних частях их разреза (обычно до глубин региональных базисов эрозии) господствуют воды ат-

мосферного питания, химический состав которых определяется главным образом вещественным составом водоносных пород и, в частности, наличием в них тех или иных водорастворимых соединений. На больших глубинах (до 5—6 км) в артезианских бассейнах распространены преимущественно воды седиментационного генезиса, минерализация и химический состав которых являются в значительной мере унаследованными от вод древних бассейнов седиментации, в которых происходило накопление данных (или реже вышележащих — для солеродных бассейнов) пород (И. К. Зайцев, Е. А. Басков, 1961; Е. А. Басков, 1967; и др.). Большое значение для оценки химического состава вод верхних водоносных горизонтов (и степени водообильности) имеют палеоклиматологические данные (сведения о количестве осадков и др.).

в) Температуры подземных вод при региональных палеогеогеологических реконструкциях определяются с помощью палеогеотермических градиентов, величины которых колеблются от 10—15 до 100—200 град/км (в зависимости от тектонического режима территории) с учетом термического воздействия магматических и метаморфических процессов. Следует учитывать при этом длительность остывания крупных интрузивных тел..

г) Региональная динамика подземных вод в артезианских структурах реконструируется для глубоких водоносных горизонтов по материалам палеотектонических исследований, на основе анализов карт мощностей осадочных образований (М. С. Бурштар, 1963; А. А. Карцев, 1972; и др.). Большое значение имеет также выявление крупных зон долгоживущих разрывных дислокаций, способствующих разгрузке подземных вод глубоких горизонтов. Для восстановления основных черт региональной динамики вод верхних водоносных горизонтов огромная роль принадлежит палеогеографическим реконструкциям рельефа древней суши. Например, по описанию палеорельефа может быть оценена мощность зоны свободного водообмена; намечено положение древних окислительно-восстановительных барьеров. Кроме того, эти данные указывают и на вероятные очаги разгрузки подземных вод, так как план гидрографической сети в значительной мере обусловлен трещинной тектоникой.

7. После проведения регионального палеогеогеологического анализа осуществляются более детальные палеогеогеологические реконструкции, охватывающие территории отдельных месторождений. При этом широко используются данные о подземных водах, получаемые путем анализа продуктов их геологической деятельности. Например, изучение жильных образований (карбонатных, кварцевых и других) часто позволяет выявить древние очаги разгрузки подземных вод и определить состав наименее устойчивых соединений, содержащихся в ранее циркулирующих по этим зонам подземных водах. Данные о жидких включениях в минералах отражают состав древних подземных вод. Весьма ценную палеогеогеологическую информацию содержат сведения о парагенетических ассоциациях минералов и последовательности их выделения, устанавливаемые на различных рудных месторождениях. Они отражают изменение гидрогеологических условий во времени, взаимосвязь этих процессов с проявлениями трещинной тектоники и часто магматизма.

8. Важно отметить, что все получаемые палеогеогеологические данные являются в той или иной степени показателями условий локализации месторождений различных полезных ископаемых. Так, например, гидрохимическая зональность, выявляемая в ранее существовавших артезианских бассейнах, позволяет наметить возможное положение древних геохимических барьеров в разрезе изучаемых толщ, которое затем уточняется по данным эпигенетических изменений водоносных пород. Сведения о химическом составе и температуре артезианских вод помогают восстановить состав рудообразующих растворов, их химическую

активность, что имеет важное значение для выявления возможных источников рудного вещества и оценки связей оруденения с магматическими породами. Палеогидродинамические показатели, и в частности намечаемые очаги разгрузки вод глубоких горизонтов, часто ассоциируют с крупными промышленными скоплениями различных металлов (А. М. Овчинников, 1957; В. Л. Барсуков и др., 1972; и др.). Для экзогенных инфильтрационных месторождений урана только наличие в прошлом артезианских бассейнов с движущимися пластовыми водами уже рассматривается в качестве положительных показателей при прогнозировании этих месторождений (С. Г. Батулин, Е. А. Головин и др., 1965).

9. Палеогидрогеологические реконструкции возможны при различной степени изученности территорий. Создание полноценной научной геологической основы для оценки исследований территории в отношении полезных ископаемых и необходимость повышения эффективности геологосъемочных работ требует более углубленного анализа и синтеза накапливающегося разнообразного фактического материала, применения новых методов исследований и, в частности, внедрения в практику крупномасштабных геологосъемочных работ палеогеологических, в том числе палеогидрогеологических, исследований.

П. А. Литвин, М. Б. Рыбаков, М. Л. Сахновский

ОПЫТ ГЛУБИННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ РАЙОНОВ ДВУХ- И ТРЕХЪЯРУСНОГО СТРОЕНИЯ

Глубинное геологическое картирование (ГГК) на территории СССР начало осуществляться с середины 50-х годов. Изучение геологического строения складчатого фундамента, погребенного под покровом молодых платформенных отложений, проводилось в Тургайском прогибе, на Украинском кристаллическом массиве, Воронежском поднятии, в Среднем Зауралье и других регионах. При этом в ряде районов велись исследования по разработке методики ГГК (В. Ю. Коваленко и др., 1969; М. Н. Столпнер, Г. И. Фундер, 1967; М. Н. Столпнер и др., 1969; В. Б. Македон и др., 1969; Е. А. Мазина и др., 1969; и т. д.), которая в настоящее время совершенствуется. Основой этой методики является комплексирование бурения с геофизическими, геохимическими и другими исследованиями и дешифрированием аэрофотоснимков.

Особенностью геологических исследований на закрытых территориях является их четкая прогнозная направленность, что определяет необходимость разработки методов прогноза, с максимальной эффективностью использующих геологическую и другую информацию и позволяющих количественно оценить достоверность прогнозных выводов.

В районах, где мощность платформенного чехла составляет несколько десятков и сотен метров, многие распространенные поисковые методы (перспекторские, литогеохимические, шлиховое опробование и др.) оказываются либо неприменимыми, либо малоэффективными для обнаружения месторождений, залегающих в фундаменте. Поэтому особое значение приобретает достоверность геологических карт и прежде всего достоверность картирования рудоконтролирующих структур и комплексов пород.

Многообразие районов с различными геолого-геофизическими особенностями и типами полезных ископаемых не позволяет рекомендовать универсальную, конкретизированную до деталей методику. Однако подход к составлению геологических карт и на их основе к оценке изученной территории на определенный вид минерального сырья имеет много общего. Особенности этого подхода показаны ниже на примере районов

двухъярусного строения, в которых складчатый фундамент и связанные с ним полезные ископаемые перекрыты чехлом рыхлых немагнитных пород мощностью до 100—120 м.

Фундамент сложен разнообразным комплексом пород (осадочных, вулканогенных, интрузивных), в различной степени дислоцированных и метаморфизованных.

ГГК м-ба 1 : 50 000 проводится одновременно на группе (3—5) смежных листов. В соответствии с требованиями «Основных положений организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000)» вся площадь, запланированная под ГГК, должна быть обеспечена качественными геофизическими материалами и аэрофотоснимками. В рассматриваемом типе районов комплекс геофизических исследований включает аэромагнитную съемку м-ба 1 : 50 000 или наземную магниторазведку м-ба 1 : 25 000—1 : 50 000, гравиразведку м-ба 1 : 50 000 и электроразведку, обычно методом ВЭЗ, реже ВП.

ГГК следует начинать с изучения опорных (типичных по геологическим и геофизическим признакам) участков, на которых решаются важнейшие для картируемой территории вопросы стратиграфии, тектоники, магматизма и т. д.

В предполевой (подготовительный) период проводится дешифрирование аэрофотоснимков, анализ физических свойств горных пород (по данным предшествующих исследований), интерпретация геофизических материалов и знакомство с разрезами пород складчатого комплекса в соседних, хорошо обнаженных районах. Прежде чем приступить к интерпретации материалов геофизических исследований, при необходимости производят пересоставление резульативных карт магнитного поля, локальных аномалий гравитационного поля, и карт изом на различных разнсах. Применение ЭВМ значительно ускоряет составление таких карт.

На основании всех этих материалов составляется геолого-геофизическая схема, на которой показываются площади развития литолого-физических комплексов пород, особенности пликативной и дизъюнктивной тектоники, зоны предполагаемой минерализации.

Полевые исследования на начальном этапе глубинного изучения сводятся к уточнению критериев интерпретации геофизических материалов и данных дешифрирования аэрофотоснимков. Для этой цели вкрест простираня складчатых структур намечаются 2—3 детализационных профиля (на один планшет). На каждом профиле выполняются высокоточные геофизические наблюдения комплексом методов с более густым шагом. Количественная интерпретация профильных геофизических наблюдений позволяет целенаправленно провести бурение картировочных скважин на профиле, в результате чего строится максимально обоснованный геологический разрез и определяется возможность прослеживания по площади отдельных геологических тел, пластов и толщ. С целью увязки данных по профилям, а также решения ряда вопросов на площади исследований производится бурение межпрофильных скважин. В местах заложения таких скважин (до бурения) проводятся дополнительные исследования тем геофизическим методом, который в данной ситуации является наиболее информативным.

Комплексирование геофизических и других методов с бурением по профилям и между ними позволяет уже на первом этапе работ выявить характерные черты геологического строения складчатого фундамента: выделить и проследить основные комплексы осадочных, вулканогенных и интрузивных пород; получить первое представление об элементах залегания отдельных геологических тел и мощности выделенных подразделений; выявить отдельные элементы пликативных структур и разрывные нарушения; наметить участки, перспективные для дальнейших поисковых работ.

Основные задачи и методы их решения при съемочно-поисковых работах масштаба 1:50 000 районов двухъярусного строения

Комплекс пород	Задачи	Метод															
		Магнито-разведка	Гравитационная разведка	Электро-разведка		Электрокартаж	Дешифрование АФС	Петрографо-литологический	Минералогический	Биостратиграфический	Петрохимический	Петрофизический	Геохимический	Геоморфологический (палеогеоморфологический)	Фациальный анализ	Формационный анализ	Структурный анализ
				ВЭЗ	ВП												
Покровный	Расчленение и корреляция Изучение структур		++	+		+++	+	+++	+	+++			+	+++			
Осадочные породы	Литолого-стратиграфическое расчленение и корреляция	+++	+	++	++			+++	+	++		++	+		+	+	
	Выделение маркирующих горизонтов	+++		++	++			+++	++	++		+++					
	Прослеживание и оконтуривание	+++	++	+	++		++	+++	++			++	+				++
	Восстановление условий осадконакопления и истории геологического развития							+++	++	+	+	++			+++	+++	
Вулканогенные породы	Выделение, прослеживание, оконтуривание	+++	++		++			+++	+			+	++	+	++	+	
	Фациальный анализ и выяснение условий образования	+	+					+++	+			++		+++			
	Выявление зон измененных пород	+++	+					+++	++			++	+++				
	Определение формационной принадлежности							+++				+++	++		++	+++	
чатый породы	Выделение и оконтуривание интрузивных тел, определение их состава	+++	+++	++	+		++	++				++					
Складчатые породы	Расчленение интрузивных пород	+++	++		+			+++	++			+++	+++	++			+
	Определение соотношений с вмещающими породами, изучение контактовых ореолов	++	++		++			+++	++	+		++	+				
	Определение формы интрузивных тел	+	+++									+					
	Восстановление процессов становления интрузивов							+++	+++			++	+++				
	Установление формационной принадлежности к интрузивному комплексу	+	+		+			+++	++			++	+++	++			++
	Расчленение, прослеживание отдельных разновидностей пород	+++	++		++		++	+++	++			+	+++	++			
Метаморфические породы	Выделение свит и комплексов	++	++					+	+++	+++	++	+	++	++			
	Изучение характера и степени метаморфизма	++	+					+++	+++			++	++	++			
	Выделение и прослеживание зон гидротермально измененных пород	+++	+		++		++	+++	+++	+	+++	+++	++				
	Выделение, прослеживание, определение вещественного состава		++	++		+++		+++	++		+	++	++	+++			
Коры выветривания	Выявление общего структурного плана	++	+++	+	++		++										
	Выделение складчатых структур	++	+++				++										
	Картирование разрывных нарушений	+++	+++	+	+			++						+			
Изучение геологической истории развития района														+++	+++	+++	

Примечание. Бурение и визуальные наблюдения по керну являются обязательными при решении всех задач.

Условные обозначения: +++ основные виды исследований; ++ вспомогательные виды исследований; + виды исследований, применяемые в отдельных случаях.

На следующем этапе работ в результате камеральной обработки материалов полевых исследований, повторной интерпретации геофизических данных с учетом физических свойств горных пород, изученных на предыдущем этапе, и проходки детализационных картировочных скважин уточняются представления о геологическом строении района, осуществляются поисковые работы и составляются окончательные геологические карты.

Такая методика и последовательность проведения работ по изучению погребенного фундамента позволяют решать широкий круг задач, требующих ответа при геологической съемке (см. таблицу).

Особенностью ГГК м-ба 1 : 50 000 является его направленность на определенный комплекс полезных ископаемых, устанавливаемый в процессе предшествующих съемок более мелкого масштаба. Это позволяет уделить наибольшее внимание тем элементам геологического строения, которые имеют важнейшее поисковое и прогнозное значение для данного района. В связи с этим авторы считают, что эффективность прогнозирования при ГГК может быть значительно повышена за счет внедрения в практику геологических съемок новых методических приемов, позволяющих более обоснованно и строго подходить к выделению и картированию рудоконтролирующих факторов.

Применительно к районам, перспективность которых определяется магматогенным оруденением, подобные методические разработки нами в настоящее время ведутся в трех направлениях; 1) выделение разломов глубокого заложения по комплексу геофизических данных; 2) классификация интрузивных массивов и определение их потенциальной рудоносности по геохимическим признакам; 3) применение морфологических моделей месторождения для поисковых и прогнозных целей. Во всех трех случаях основное внимание обращается на создание унифицированного подхода к решению каждого из этих вопросов и на приемы количественной оценки достоверности конечных результатов.

Выделение разломов глубокого заложения в закрытых районах может производиться по гравитационным аномалиям уступа, соответствующим перемещению блоков фундамента с амплитудой, большей или равной удвоенной среднеквадратической ошибке вычислений, а при отсутствии таких аномалий — по комплексу косвенных геофизических признаков: 1) частоте встречаемости локальных аномалий силы тяжести; 2) частоте встречаемости локальных магнитных аномалий; 3) частоте случаев изменения степени изрезанности магнитного поля; 4) протяженности линейных магнитных аномалий и др.

В случае использования этих косвенных признаков задача выделения разломов глубокого заложения может быть сформулирована как задача «распознавания образов», а достоверность разломов, выделяемых с помощью соответствующих алгоритмов распознавания, может быть оценена статистически. Поскольку площадные геофизические исследования предшествуют ГГК, выявление разломов глубокого заложения описанным способом может быть произведено в подготовительный период. Это позволяет в процессе ГГК с наибольшей эффективностью определить рудоконтролирующую роль каждого из установленных нарушений.

При решении вопросов *классификации интрузивов*, а также при *прогнозировании их рудоносности* по принципу аналогии (сходства с известными в изученном районе и в соседних районах рудоносными интрузивами) возможности использования большинства распространенных геохимических методов (в том числе и тех, где применяются приемы математической обработки) ограничены тем, что в породах дифференцированных массивов содержание химических элементов определяется не только принадлежностью интрузива к тому или иному комплексу, но и степенью кремнекислотности, которая может широко варьировать как

внутри интрузива, так и в пределах комплекса. Эти трудности особенно усугубляются в условиях ГГК, когда геолог располагает пробами, отобранными из единичных скважин, вскрывших интрузивное тело.

Разрабатываемая нами методика предусматривает: а) замену исходных признаков (содержаний элементов) функциями от этих признаков, не зависящими от кремнекислотности пород; б) обработку полученного набора новых признаков с помощью стандартных алгоритмов для целей классификации и прогнозирования рудоносности с количественной оценкой достоверности полученных выводов.

Процесс создания набора преобразованных признаков включает следующие этапы:

1) из набора исходных признаков выбираются для дальнейшей обработки n таких, которые обладают устойчивой тенденцией геохимического поведения в процессе дифференциации (в пределах изучаемой группы интрузивных образований);

2) эмпирическим путем устанавливаются зависимости между отобранными признаками, имеющие вид $x_i = f(A_i) + C_i$, где $A_i \in \{x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_{n-1}, x_n\}$; C_i — случайная компонента; $i = 1, 2, \dots, m (m \leq n)$;

3) по исходным данным вычисляются значения $C_i = x_i - f(A_i)$, представляющие собой характеристики, не зависящие от кремнекислотности;

4) из полученного набора признаков C_i отбираются те, которые обладают наибольшей информативностью.

Представляется, что первые три этапа должны осуществляться в процессе специальных тематических исследований, а задачей геолога-съемщика является отбор наиболее информативных для картируемой площади признаков и их использование при решении классификационных и прогнозных задач.

Опыт показывает, что преобразованные признаки являются не только независимыми от кремнекислотности, но, как правило, и взаимно независимыми, что дает геологу большую свободу в выборе алгоритмов распознавания и классификации.

Подобная методика была применена для решения задачи прогнозирования никеленосности основных — ультраосновных массивов Мончегорского района (Кольский п-ов). Преобразованные признаки, не зависящие от кремнекислотности, имеют вид:

$$C_1 = \text{MgO} + 1,64 \text{SiO}_2 - 96,30,$$

$$C_2 = \text{V}_2\text{O}_5 - 0,0031 \text{SiO}_2 + 0,125,$$

$$C_3 = \text{S} - 0,64 \text{P}_2\text{O}_5,$$

$$C_4 = \ln \text{Cr}_2\text{O}_3 + 0,07 \text{SiO}_2 - 1,72,$$

$$C_5 = \ln \text{TiO}_2 - 0,067 \text{SiO}_2 + 4,05.$$

Оказалось, что известные в районе никеленосные и безрудные интрузивы достаточно надежно отличаются по набору первых трех признаков. Применение простых алгоритмов, не учитывающих корреляцию между признаками и не требующих обязательного привлечения ЭВМ, обеспечивает распознавание по трем пробам с ожидаемой вероятностью ошибки менее 5%.

Морфологическая модель месторождения (МММ) — это «образ месторождения», в общем случае представляющий собой формальное описание значений параметров и характера связей между ними.

Параметры делятся на две группы:

1) характеризующие промышленную ценность месторождения (состав и качество руд, запасы, глубина залегания и др.);

2) являющиеся поисковыми и прогнозными признаками месторождения (характер рудоконтролирующих структур и комплексов пород,

особенности физических полей и их пространственные характеристики, состав, размеры и зональность геохимических ореолов и др.).

Наиболее важными являются связи между параметрами первой и второй групп, а также внутри второй группы.

Основным требованием к МММ является ее инвариантность внутри рассматриваемого типа месторождений.

Морфологическая модель месторождения составляется в предполевой период с привлечением большого количества литературных и фондовых материалов по месторождениям данного типа и позволяет решать целый ряд поисково-прогнозных задач, важнейшими из которых являются:

1) выбор рационального комплекса методов и оптимального размера сети опоискования при заданной вероятности обнаружения объекта;

2) выявление на предварительном этапе исследований участков для первоочередной постановки поисковых работ;

3) оценка надежности опоискования исследованной площади.

В настоящее время нами создаются модели для двух типов месторождений: метасоматических железорудных и медно-порфировых. С помощью упрощенных МММ этих типов месторождений произведена оценка надежности опоискования закрытой территории одного из участков в Павлодарском Прииртышье.

Изложенный подход к методике проведения ГГК, направленный на увеличение степени достоверности геологических карт и количественную оценку надежности выделения рудоконтролирующих факторов, является важным средством повышения эффективности прогнозирования полезных ископаемых при крупномасштабном изучении закрытых территорий.

*В. Е. Попов, Е. В. Альперович, Л. С. Гельтман, Н. В. Кочкин,
А. Н. Мельгунов, Г. Т. Скублов, В. И. Шкурский*

ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ КАРТ СРЕДНЕГО МАСШТАБА ПО МАТЕРИАЛАМ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ *

Выделение перспективных площадей для детальных поисковых и поисково-разведочных работ на комплексных прогнозно-металлогенических картах среднего масштаба, составленных для районов, где в основном завершены крупномасштабные работы, рассматривается на примере Центрального Казахстана и Карело-Кольского региона. Карты составлены в содружестве с сотрудниками СЗГТУ и ЦКГУ при участии большого коллектива геологов ВСЕГЕИ (В. Д. Вознесенский, Э. Е. Кацнельсон, В. Н. Копылов, Ж. Д. Никольская, Г. Н. Филатов и др.). При работе было использовано более 200 планшетов геологических и других карт крупного масштаба.

Созданные к настоящему времени руководства по составлению средне- и крупномасштабных и прогнозных карт (Е. Т. Шаталов, В. Т. Матвеевко и др.) отражают главным образом целевое назначение и теоретическую основу карт, а также содержат рекомендации по унификации условных обозначений. При разработке методических вопросов был обобщен практический опыт, накопленный при составлении комплексных прогнозно-металлогенических карт среднего масштаба на Урале

* Доклад подготовлен по результатам работ Саблинской металлогенической партии, созданной для проверки прогнозных рекомендаций и практического применения методики прогнозно-металлогенических исследований, разрабатываемой во ВСЕГЕИ.

(П. В. Нечаев, В. А. Прокин, А. В. Пуркин, Е. А. Шумихина и др.), Кавказе (С. Г. Букия, Г. А. Твалчредидзе, В. Б. Черницин и др.), в Карелии (В. В. Яковлева), Саяно-Байкальской области (С. М. Ткалич, Н. Г. Ключанский), Средней Азии (В. М. Петров, Т. М. Мацокина, Ю. С. Шихин, А. Д. Шмулевич и др.) и Казахстане (Е. Ф. Бурштейн, В. И. Волобуев, Ю. Ю. Воробьев, А. К. Қаюпов, В. В. Колесников, Е. В. Пучков, Г. Н. Щерба и др.).

Исходный материал и его использование

1. Спецификой Центрального Казахстана, Южной Карелии, Кольского полуострова, как и других рудных районов, является обилие ранее проведенных исследований, иногда приводивших к противоречивым выводам в отношении роли тех или иных рудоконтролирующих факторов в локализации оруденения. Составление среднемасштабных карт основывалось на объективном обобщении всех имеющихся геологических, геофизических и геохимических материалов, включая результаты поисково-разведочных работ.

Использованные крупномасштабные карты и карты полезных ископаемых наряду с новизной и большим объемом фактической информации, заключенной в них, имеют целый ряд недостатков. К их числу относятся: 1) противоречивость стратиграфических и интрузивных схем, разработанных различными исследователями; 2) слабая изученность околорудных метасоматически измененных пород; 3) выделение литогеохимических и гидрогеохимических аномалий без учета геохимического фона пород; 4) чрезмерная загруженность карт так называемыми точками рудной минерализации, к которым зачастую относятся слабые литогеохимические аномалии, выделенные также без учета геохимического фона; 5) недостаточная разработка классификаций месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых; 6) отсутствие или недостаточность надлежащей прогнозной оценки районов.

2. Важным этапом при работе над созданием прогнозно-металлогенических карт является составление сводных регистрационных карт полезных ископаемых, геологическая основа для которых получена путем обобщения и увязки крупномасштабных геологических карт, составления сводных корреляционных схем стратиграфии и магматизма, дифференциации разрывных и складчатых структур по морфологии и параметрам и т. д. Основной нагрузкой этих карт являются вынесенные в соответствующих условных обозначениях все известные месторождения, рудопроявления и знаки рудной минерализации, литогеохимические и гидрогеохимические аномалии, шлиховые ореолы и геофизические аномалии, представляющие поисковый интерес. Развертка металлогенической информации регистрационных карт осуществляется посредством использования перфокарт ручной обработки с кадастром полезных ископаемых. Карты сопровождаются обобщенными металлометрическими и магнитометрическими картами и картами условий ведения поисков, составленными на основе данных картировочных скважин и ВЭЗ. В ряде случаев оказалась необходимой повторная интерпретация результатов работ, например, увязка результатов спектральных анализов, проведенных в разные годы, с различными порогами чувствительности (включая пересмотр пластин). На этом этапе проводится также комплексная интерпретация физических полей — определение контуров нескрытых эрозией интрузивов различного состава и куполовидных структур (в древних складчатых областях); выявление региональных разрывных нарушений, слабо проявленных на дневной поверхности; уточнение глубинности разломов и других особенностей глубинного строения и т. д. Аналитические данные по геохимии, гидрохимии и петрохимии обобщаются и обрабатываются на ЭВМ методами многомерного статистического анализа, что позволяет

выявить геохимическую специализацию как имеющихся магматических комплексов, так и отдельных геологических блоков.

3. На базе обобщенных геологических и геохимических данных, сведенных в среднем масштабе на регистрационные карты полезных ископаемых и другие вспомогательные карты, проводится комплексный металлогенический анализ, который включает в себя:

1) классификацию месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых с выделением рудных формаций и определением их прямых и косвенных поисковых признаков;

2) анализ истории геологического развития регионов и процессов рудообразования в них, результатом которого является выделение циклов и этапов геотектонического развития, геологических формаций и металлогенических эпох;

3) анализ и обобщение рудоконтролирующих факторов, определяющих региональные и локальные закономерности размещения месторождений в пространстве; установление этих закономерностей позволяет осуществить металлогеническое районирование, включающее в себя выделение на карте металлогенических зон, рудных узлов (зон) и рудных полей.

Принципы прогнозирования и рекомендации по очередности поисковых работ

1. В основу прогнозирования положен формационный анализ. Среди рудных формаций в первую очередь выделялись перспективные в промышленном отношении формации, прогнозируемые методом аналогии как с эталонами, изученными на территории исследований, так и за ее пределами, в том числе неизвестные ранее в СССР. При установлении промышленной ценности рудных формаций была произведена оценка ранее известных сведений об оруденении с учетом современных требований к сырью (например, содержания кобальта в пирите из шунгитовых сланцев Карелии). Преимущества комплексного анализа сказались на возможности выделения рядов формаций (кремнисто-гематитовая → колчеданная → колчеданно-полиметаллическая; кремнисто-гематитовая → скарново-магнетитовая и т.п.), что позволило прогнозировать недостающие члены таких рядов. Формационный анализ осадочных, вулканогенных, интрузивных и метаморфических формаций был направлен на выделение их пространственной или генетической связи с рудными формациями. При невозможности выявления таких связей (для некоторых месторождений постинверсионного этапа) прогнозирование велось с учетом прямых поисковых признаков. Среди рудоконтролирующих факторов в качестве важнейших признаков учитывались зональность оруденения и его структурная приуроченность, а для эндогенных месторождений также и метасоматическая зональность. Дополнительная интерпретация крупномасштабных геофизических исследований позволила выделить участки для ведения поисков до глубины 300—500 м.

2. Сравнительный анализ распределения элементов в гидротермально измененных и неизмененных породах позволил на примере Каргалинской структуры (Центральный Казахстан) разработать новый метод выделения рудных узлов и зон, основанный на изучении дисперсии содержания элементов. Сущность его заключается в следующем:

а) по редкой сети (от 1×4 до 2×2 км) отбираются пробы горных пород, не затронутых метасоматической переработкой, и подвергаются приближенно-количественному анализу на 10—20 рудных и литофильных элементов;

б) результаты обрабатываются R-методом главных компонент, далее путем решения обратной задачи факторного анализа (Белонин и др.,

1971) исключается влияние I фактора и находятся содержания элементов, как бы «нормированные» к составу пород, т. е. I фактору;

в) полученная матрица содержаний элементов транспонируется, подвергается нормированию и статистической обработке (аналогично предварительным операциям Q-метода факторного анализа);

г) производится детальный анализ полученных средних значений (степени обогащенности элементами-примесями отдельных проб) и стандартных отклонений (мера внутренней неоднородности распределения элементов в конкретной пробе или коэффициент дисперсности распределения — КДР);

д) по средним значениям и величинам КДР строятся геохимические карты.

Установлено, что повышенные значения КДР наблюдаются только в пределах рудных узлов и зон. Этот метод может оказаться эффективным для прогнозной оценки территории при среднемасштабных работах в районах с хорошей обнаженностью и сравнительно однородным строением до проведения крупномасштабной съемки.

3. Для количественного металлогенического прогнозирования с помощью ЭВМ вся территория Агадырского рудного района была разделена на элементарные ячейки размером 2×2 км, для каждой из которых собирается информация по 400 геологическим параметрам. Использование любых из нижеперечисленных статистических (дискриминантные функции, байесовский и теоретико-игровой подход) и эвристических (алгоритмы типа «Кора-3», «Образ», «Туликовые тесты», «Голотип», «Потенциальные функции» и др.) методов позволяет провести металлогеническое прогнозирование на основе количественных критериев.

4. На примере Карело-Кольского региона математически обоснована определенная последовательность постановки оценочных работ на перспективных площадях. Рассмотрены варианты увеличения вероятности обнаружения рудных залежей и минимизации времени поиска при фиксированной геологоразведочной сети (определенном масштабе исследований) и заданном количестве вкладываемых средств. Эти задачи решаются методами оптимального и динамического программирования. Оценки закона распределения рудных скоплений и расчет вероятности обнаружения их в пределах перспективных площадей производились с использованием методов теории распознавания образов. Для решения задачи разработана единая система программ для БЭСМ-4 под общим названием «Оптимальные стратегии поиска», использование которой позволило составить карты относительной перспективности поисковых участков, степени сложности ведения поисков, оптимальной очередности выбора площадей при применении различного комплекса поисково-съемочных работ.

При использовании составленных авторами комплексных прогнозно-металлогенических карт был выявлен ряд новых и расширены перспективы ранее известных объектов (Джангельды, Джаксы-Булак, участок Новый и др.). В некоторых случаях удалось произвести переоценку формационной принадлежности месторождений и рудопроявлений и соответственно по-новому ориентировать поисковые работы (установление стратиформного характера комплексного редкометалльно-полиметаллического оруденения Северного Приладожья, медного и кобальтового оруденения Заонежья и Северной Карелии).

Полученные данные дают основание полагать, что по мере дальнейшего расширения и улучшения качества крупномасштабных геологосъемочных работ прогнозные рекомендации, даваемые на основе их обобщения, будут приобретать все более конкретный характер, а применение новых методик прогнозирования, и в особенности комплексная обработка данных на ЭВМ, удешевит и повысит их достоверность.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБЪЕМНОГО КАРТИРОВАНИЯ ГРАНИТНЫХ МАССИВОВ ДЛЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ РЕДКОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Задачей объемного картирования является выяснение положения геологических тел, разломов и поверхностей несогласий в каждой точке пространства с точностью, отвечающей масштабу работ. Соответственно должны быть изучены и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых. Однако на современном уровне развития геологических и геофизических методов объемное картирование может преследовать ограниченные цели, а именно — определение формы и внутреннего строения отдельных аномалеобразующих тел и их сочетаний. К таким объектам в первую очередь могут быть отнесены гранитные массивы, с которыми отмечается пространственная и генетическая связь многих эндогенных месторождений. Объемное картирование гранитных массивов способствует более углубленному изучению геологической обстановки формирования оруденения, позволяя наметить надежные критерии прогноза, учитывающие особенности формы и внутреннего строения материнских плутонов. Выделение перспективных участков в этом случае базируется на достаточно достоверных сведениях об истинных размерах интрузивов, соотношениях объемов гранитов ранних и поздних фаз, местоположении корневых частей и боковых граней плутонов, особенностях морфологии кровли интрузива и отдельных тел, сложенных гранитами поздних фаз, а также положении этих тел относительно современной поверхности эрозии.

При определении формы интрузивов с некоторой долей условности можно различать методы изучения морфологии кровли и методы определения формы глубоких частей интрузивных тел. Изучение кровли массивов заключается в реконструкции первичной контактовой поверхности частично эродированных массивов и определении глубины ее залегания под вмещающими породами. Реконструкция кровли частично эродированных массивов выполняется с помощью качественных и количественных методов оценки величины эрозионного среза интрузивов, зная которую можно реставрировать первичную контактовую поверхность. Для определения морфологии кровли массивов под вмещающими породами можно использовать бурение, изучение продуктов контактово-термального метаморфизма и геофизические исследования. Изучив по нескольким скважинам метаморфическую зональность надинтрузивных зон по вертикали и увязав ее с расстояниями до кровли интрузива, можно затем по результатам площадных исследований контактово-термального метаморфизма оценить морфологию и глубины залегания кровли не-вскрытой части интрузива или кровли слепого массива. Из геофизических исследований для изучения морфологии кровли интрузивов под вмещающими породами наиболее широко используются гравиразведка и магниторазведка. Этими методами можно оконтурить площадь надинтрузивной зоны, определить глубины залеганий отдельных точек кровли интрузива и на основании гравитационных данных построить карту изогипс поверхности кровли. В отдельных случаях морфология кровли массива может быть изучена на основании сейсмических и электроразведочных данных.

При изучении формы глубоких частей интрузивных тел и внутреннего строения ведущая роль принадлежит геофизическим методам. Решение первой задачи с помощью гравитационных и магниторазведочных

данных основывается на представлениях об идеализированной геометрической модели, аппроксимирующей реальные формы интрузивных тел. Методы вычислений параметров модели выбираются в зависимости от уровня среза кровли интрузива и ее формы. На основании вычисленных значений параметров тела контур его на глубине уточняется подбором. Изучение внутреннего строения интрузивов заключается в выяснении преобладающего развития и характера распределения в теле интрузива пород разных фаз и определении формы их тел.

В результате по интерпретационным геолого-геофизическим профилям составляются глубинные геологические разрезы. На основании разрезов и использования материалов площадных съемок (геологической и геофизических) строятся карты срезов на различных уровнях, схемы или карты изогипс контактовой поверхности интрузива, блок-диаграммы и другие документы, отражающие объемное строение интересующего объекта. Выявленные при этом особенности размещения оруденения используются для совершенствования карты закономерностей размещения полезных ископаемых. На карте прогноза, картах срезов на различных уровнях, на блок-диаграммах выделяются участки, перспективные для постановки поисковых работ. Для проверки полученных представлений об объемном строении интрузивных тел в пределах перспективных участков производится бурение структурных скважин, позволяющих уточнить результаты интерпретации и провести более детальные исследования по локализации перспективных участков.

Изложенная методика была использована при изучении объемного строения пермских гранитных массивов Центрального Казахстана, относящихся к акчатаускому интрузивному комплексу, с которым, по мнению большинства исследователей, генетически и пространственно связаны месторождения грейзеновой молибден-вольфрамовой формации. Среди интрузивов данного комплекса имеются как продуктивные, так и безрудные массивы.

Для решения первой задачи прогнозирования — расчленения интрузивов комплекса на рудоносные и безрудные — можно использовать следующие особенности их формы и внутреннего строения. Вскрытые безрудные массивы характеризуются: а) плаколитообразной формой с довольно плоской кровлей, осложненной отдельными мелкими куполами; б) отсутствием значительных по площади надынтрузивных зон; в) преобладанием в объеме гранитов ранних фаз при резко подчиненном развитии гранитов поздних фаз внедрения, образующих маломощные пластовые тела. Рудоносные интрузивы имеют: а) гарполитообразную форму с куполообразной верхней частью, на фоне которой выделяются многочисленные купольные структуры более мелких порядков; б) значительные по площади надынтрузивные зоны; в) сложное внутреннее строение, когда наряду с гранитами ранних фаз в больших объемах присутствуют породы поздних интрузивных фаз. Указанные закономерности особенно важны для определения продуктивности слепых интрузивов, позволяя на начальной стадии исследований отказаться от постановки дорогостоящих буровых работ.

Для оценки перспектив рудоносных массивов необходимо учитывать выявленную зависимость масштаба проявления редкометального оруденения от особенностей их внутреннего строения. С массивами, большая часть объема которых сложена гранитами ранних фаз, связаны мелкие месторождения редких металлов. Наоборот, наиболее крупные месторождения приурочены к таким интрузивам, основная часть объема которых представлена гранитами поздних фаз, что отвечает представлениям многих исследователей о рудогенерирующей роли пород конечных фаз.

При выделении в пределах рудоносных массивов площадей, перспективных для локализации оруденения, также следует использовать сведения об их форме и внутреннем строении. Подавляющее большинство ме-

сторождений, в том числе все промышленные, связаны с теми частями интрузивов, где они имеют наибольшие вертикальные размеры (корневая система плутонов) и сложены преимущественно гранитами поздних фаз. Однако оказывается, что перспективные площади, оконтуренные только на основании этих признаков, имеют весьма значительные размеры и многие их участки являются безрудными. Это требует более детального изучения особенностей формы и внутреннего строения гранитных массивов для получения дополнительных критериев, позволяющих подразделить перспективные площади на весьма перспективные и менее перспективные и выделить в пределах первых наиболее перспективные локальные участки.

В результате такого более детального изучения формы и внутреннего строения гранитных массивов акчатауского комплекса установлены следующие локальные критерии прогноза редкометальных месторождений:

1. Большинство месторождений надынтрузивных зон удалено вверх от гранитов не более чем на 500 м. Следовательно, знание глубины залегания кровли гранитов под вмещающими породами помогает установить уровень локализации оруденения и может служить одним из дополнительных критериев для выделения в пределах надынтрузивных зон наиболее перспективных участков.

2. В пределах надынтрузивной зоны многие штокверковые месторождения располагаются над слепыми куполами кровли гранитов. Эта закономерность отмечена всеми исследователями и может служить в качестве дополнительного критерия при оценке перспектив той или иной площади. На примере наших работ можно предположить, что основная роль в локализации штокверкового оруденения принадлежит куполам, сложенным гранитами поздних фаз. Даже над участками плоской кровли массива могут быть обнаружены значительные концентрации рудного вещества, если на некоторой глубине залегают внутриинтрузивные тела гранитов поздних фаз с купольным строением кровли.

3. Штокверки, для которых характерна шеелитовая минерализация и форма расширяющегося книзу конуса, приурочены к уступообразным изменениям рельефа кровли гранитов и располагаются в плане на расстояниях 500—1000 м от крутых боковых стенок куполов кровли. Граниты под такими штокверками даже при бурении до глубин 1200—1500 м не установлены. Возможно, что месторождения данного типа могут быть связаны и с крутыми боковыми гранями самих интрузивов.

4. В пределах гранитных массивов редкометальное оруденение расположено в их эндоконтактных зонах мощностью до 200 м. Кроме того, перспективными являются те участки массивов, где можно предполагать существование на глубине крупных по размерам тел, сложенных гранитами поздних фаз внедрения. Не исключено, что поверхность их кровли является неровной, и к ее куполообразным выступам могут быть приурочены скрытые на глубине редкометальные месторождения разных морфологических типов.

Вышеизложенные критерии прогноза редкометального оруденения позволяют использовать сведения об объемном строении гранитных массивов для выделения на поисковые и поисково-разведочные работы перспективных площадей и участков. Приведем конкретные примеры по Центральному Казахстану.

В пределах Ортауского рудного района некоторые перспективы для обнаружения редкометальных месторождений могут связываться лишь с северной половиной Ортауского гранитного массива. Площадь перспективной части надынтрузивной зоны 80 км², что составляет 27% от всей площади зоны. Наибольшими перспективами обладает северный участок, где расположено самое крупное по размерам тело, сложенное гранитами поздних интрузивных фаз. В самих гранитах, апикальная часть

которых срезана процессами эрозии на большую глубину, могут быть обнаружены в основном только корневые части месторождений жильного типа. Все купольные структуры второго порядка, осложняющие периферическую часть Северо-Ортауского купола, за исключением одной, в которой уже известно небольшое редкометальное месторождение, располагаются в гранитах ранних интрузивных фаз, что не позволяет рассчитывать на открытие в их пределах крупных грейзеновых месторождений жильного типа. Некоторый интерес может представить лишь кольцевая зона шириной 0,5—0,7 км вокруг гранитов поздних фаз внедрения, поскольку последние, полого погружаясь под граниты ранних фаз, залегают здесь на небольшой глубине.

Значительно более богатые перспективы открываются для Байназарского рудного района, так как здесь рудовмещающие толщи надинтрузивной зоны Байназарского массива сохранились почти полностью, а в его объеме преобладают граниты поздних фаз внедрения. На площади можно наметить четыре перспективных на редкометальное орудование участка общей площадью 160 км², что составляет около 16% от всей площади надинтрузивной зоны Байназарского плутона. Все участки расположены в пределах перспективной площади, равной 500 кв. км и размещающейся над корневой частью плутона. Их контуры ограничены глубиной залегания гранитов 700—800 м и уступообразными изменениями рельефа кровли массива.

Кроме этого, во всех редкометальных рудных районах Центрального Казахстана имеются перспективы обнаружения штокверков в периферических частях массивов, связанных с их крутыми боковыми стенками главным образом в местах, располагающихся вблизи корневых частей интрузивов. Примером таких месторождений может служить Верхнее Кайракты.

В своих исследованиях авторы ограничились в основном изучением объемного строения редкометальных гранитных интрузивов и их отдельных частей, рассматриваемых в качестве рудоконтролирующих структур. На первых порах разработка методики должна была производиться на достаточно простых объектах, которые создают интенсивные аномалии физических полей и для определения формы и внутреннего строения которых можно использовать разнообразный комплекс геолого-геофизических методов. В дальнейшем необходимо перейти к более широкому классу геологических тел, обратив самое серьезное внимание на те из них, которые оказывают непосредственное влияние на размещение месторождений полезных ископаемых. Для дальнейшего совершенствования методов прогноза в районах развития интрузивных образований следует отметить необходимость учета детальных особенностей геофизических полей с целью изучения закономерностей распределения и формы тел, сложенных породами разных фаз внедрения, а также протяженных даек, пространственно связанных с массивом. По-прежнему остро стоит задача выявления и определения размеров магмоподводящих каналов. Решение этих вопросов, несомненно, повысит эффективность прогнозирования эндогенных месторождений полезных ископаемых.

Э. Я. Дубинчик, В. К. Путинцев, В. В. Соловьев

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ И МОРФОСТРУКТУРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Истощение минеральных ресурсов многих рудных районов выдвигает на первое место задачу поисков слепых рудных объектов, которая приобретает особо важное значение для относительно слабоэродирован-

ных и плохо обнаженных молодых складчатых систем восточных районов СССР. Большие возможности успешного разрешения этой задачи заключены в комплексном использовании петрофизических, геофизических и морфоструктурных методов. Принципиальная схема взаимодействия этих методов исследований основана на установлении многообразных причинно-следственных связей между глубинными потенциально рудоносными интрузивными телами и соответствующими им морфоструктурами. Геолого-геофизические методы дают возможность выделить не вскрытые денудацией магматические тела, а морфоструктурный анализ позволяет оконтурить в их пределах участки с наименьшей глубиной залегания. Таким образом, значительно сужается район поиска и намечаются локальные объекты, наиболее перспективные для дальнейшего детального изучения.

Комплексные исследования, проведенные на территории южной части Дальнего Востока, позволили составить экспериментальные специализированные карты м-ба 1 : 1 000 000—петрофизических фаций и морфоструктурную. Информация карт положена в основу составления итоговой прогнозной схемы.

Основные результаты работ сводятся к следующему:

1. На основании изучения плотности (σ , г/см³), магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-6}$ СГС) и остаточной намагниченности ($I_n \cdot 10^{-6}$ СГС) интрузивных пород территории юга Дальнего Востока СССР выделен ряд петрофизических ассоциаций. Такие ассоциации, называемые петрофизическими фациями (Дубинчик, Путинцев, 1971), представляют естественные совокупности пород, характеризующиеся близкими значениями избыточной плотности по отношению к среднему типу, определенными пределами магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности. Относительное расположение пород петрофизических фаций в координатах «плотность — магнитная восприимчивость» и «магнитная восприимчивость — остаточная намагниченность» показывает, что каждая из выделенных фаций характеризуется достаточно обособленными полями.

2. Интрузивные тела петрофизических фаций четко различаются своей характеристикой в геофизических полях, что определяется различной избыточной плотностью и магнитной восприимчивостью интрузивных тел по отношению к вмещающим породам, а также вертикальными размерами тел. Как показали расчеты, вертикальная мощность тел различных фаций изменяется от 2 до 16 км.

Анализ локальных гравитационных аномалий и аномального магнитного поля с учетом данных о физических свойствах интрузивных пород и вмещающих образований позволил оценить степень эрозионного среза плутонических массивов — отношение площади выхода на дневную поверхность пород фаций к площади эквивалентных им магматических образований, скрытых под осадочными и вулканогенными толщами, а также оконтурить отдельные слепые тела. В пределах складчатых систем региона площади незродированных частей тел значительно превосходят площади обнаженных. В пределах срединных массивов соотношение обратное.

3. Морфоструктурные исследования позволили выявить неотектоническое блоковое строение территории и выделить морфоструктуры центрального типа. Методом дирекционных аномалий геоморфологических линейных элементов, кроме хорошо выраженных в рельефе структур, намечены и палеотипные формы, связанные с не вскрытыми петрофизическими фациями. На основе морфологической типизации выделены три основные группы морфоструктур: купольные, купольно-кольцевые и кольцевые.

Впервые установлены определенные связи между петрофизическими фациями и сопряженными с ними морфоструктурами центрального типа. В большинстве случаев тип морфоструктуры определяется: а) избы-

точной плотностью интрузивного тела по отношению к вмещающей породе; б) вертикальными размерами тел. Это находит четкое отражение в величине коэффициента корреляции, которая для первого случая составляет 0,75, для второго — 0,60. При отрицательной избыточной плотности и значительных вертикальных размерах интрузивные тела выражены в рельефе в виде куполов. Кольцевые морфоструктуры наиболее характерны для интрузивных тел с положительной избыточной плотностью.

4. Конкретные интрузивные комплексы и формации по отношению к петрофизическим фациям занимают различное положение. Выделяются монофациальные и полифациальные интрузивные комплексы (формации), состоящие из пород двух и более фаций. Поскольку физические параметры интрузивных пород в значительной мере определяются условиями формирования, очевидно, что монофациальные комплексы формируются в более или менее однородной вмещающей среде и достаточно выдержанной геотектонической обстановке, тогда как для полифациальных комплексов характерна определенная нестабильность режима их становления.

5. Петрофизические фации пород на карте показаны на фоне блоков, соответствующих различному уровню регионального гравитационного поля. Сопоставление схемы блокового строения территории со схемами глубинного строения (Н. А. Беляевский, И. П. Косминская и др.) позволяет высказать предположение, что понижение уровня гравитационного поля может быть обусловлено увеличением мощности коры за счет гранито-гнейсового слоя. Намечена определенная связь между блоковым строением территории и неотектоническими деформациями. Блоки с пониженным уровнем регионального гравитационного фона совпадают с областями устойчивых воздыманий различной напряженности; блоки с повышенным уровнем регионального гравитационного поля являются более стабильными и характеризуются слабыми восходящими либо нисходящими движениями.

6. Сопоставление петрофизической и морфоструктурной карты с металлогеническими картами и картами полезных ископаемых южной части Дальнего Востока дало возможность вскрыть некоторые новые закономерности пространственной локализации рудных месторождений и проявлений и выявить ряд петрофизических, геофизических и морфоструктурных рудоконтролирующих признаков как региональных, контролирующих размещение металлогенических зон, так и локальных, определяющих положение рудных районов и узлов (см. таблицу). Установлены определенные связи между петрофизическими фациями и рудной минерализацией, т. е. намечена металлогеническая специализация петрофизических фаций. Основное внимание было уделено оловорудной и золоторудной минерализации.

О л о в о. Подавляющее большинство месторождений и рудопроявлений олова размещено в пределах блоков, где уровень регионального гравитационного фона значительно понижен; региональное магнитное поле ΔT_a спокойное, близкое к нормальному, реже отрицательное. В неотектонический этап развития эти блоки испытывают интенсивные восходящие глыбовые движения. Оловорудные зоны расположены в центральных районах Сихотэ-Алинского и Баджало-Ям-Алинского сводов. В пределах этих зон выделены оловорудные районы. Более 80% известных месторождений и проявлений олова сопряжены с гранитами фаций Б₁, Д и, в меньшей степени, А₁. Общими признаками, характеризующими породы этих фаций, являются низкая магнитная восприимчивость, не превышающая $30 \cdot 10^{-6}$ СГС, и интенсивные отрицательные локальные аномалии Δg , наблюдаемые над плутоническими телами.

Районы развития силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой минерализации контролируются неэродированными и, в меньшей

Геофизические и морфоструктурные признаки оруденения

Полезные ископаемые	Генетические типы и формации	Региональные признаки		Локальные признаки		
		Уровень регионального гравитационного поля	Уровень неотектонических движений	Петрофизические фации	Геофизические поля	Морфоструктуры центрального типа
Sn	Кварцево-касситеритовые	В пределах блоков с низким или слабоповышенным уровнем регионального поля	Интенсивные и значительные восходящие движения крупных блоков центральных частей Сихотэ-Алинского (СА) и Баджало-Ям-Алинского (БЯ) сводов	Гранитоиды повышенной (A_1), нормальной (B_1) и резко пониженной (Д) плотности, слабомагнитные	Слабые локальные отрицательные аномалии ($-5 \div -10$ мгл)	Купольные
	Силикатно- и сульфидно-касситеритовые			Гранитоиды нормальной плотности, слабомагнитные		
Au	Золото-кварцевые (с Мо и W)	В пределах блоков с повышенным либо слабопониженным уровнем регионального поля	Дифференцированные движения мелких блоков на фоне слабых (Амуро-Охотский свод) и умеренных поднятий краевых частей СА и БЯ сводов	Кварцевые диориты и гранодиориты повышенной плотности и переменной χ (A_{2-3})	Аномалии ΔT_a ($+300 \div 2000$)	Разного рода
	Золото-кварцевые, золото-серебряные (эпитермальные) золото-сурьмяно-ртутные			Диориты и гранодиориты повышенной плотности, слабомагнитные (A_1)		
Mo	Кварцево-молибденовые	В пределах блоков с низким уровнем регионального поля	Значительные восходящие движения крупных блоков краевой части БЯ свода	Кварцевые диориты, гранодиориты и граниты пониженной плотности, магнитные (В)	Аномалии ΔT_a ($+200 \div 2500$)	Крупные кольцевые, осложненные мелкими купольно-кольцевыми
Pb, Zn	Гидротермальные, контактово-метасоматические	В пределах блоков с повышенным уровнем регионального поля	Нисходящие и слабые восходящие движения восточной части СА свода (в пределах вулканогена)	Кварцевые диориты, гранодиориты, реже граниты пониженной плотности, магнитные (В) и сильномагнитные (Г)	Аномалии ΔT_a ($+300 \div 3000$)	Купольно-кольцевые

мере, обнаженными слабомагнитными гранитоидами нормальной плотности (фа́ция B_1). Оловорудные районы с кварцево-касситеритовой или смешанной кварцево-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой минерализацией пространственно сопряжены со слабомагнитными породами повышенной (A_1) и резко пониженной (D) плотности. Месторождения и рудопроявления олова сосредоточены в основном в центральных частях гравитационных аномалий. С уменьшением степени эрозионного среза plutонических массивов петрофизических фаций B_1 , D и A_1 ($S_0 : S_c$) закономерно возрастает количество месторождений и рудопроявлений олова, приходящихся на единицу площади данной фации ($\frac{n}{\Sigma S}$). Из морфоструктур центрального типа для оловорудных районов характерны купольные, реже купольно-кольцевые.

Вольфрам. Рудоконтролирующие признаки олова и вольфрама достаточно близки. Месторождения и рудопроявления вольфрама, подобно олову, приурочены к блокам с низким уровнем регионального фона. Магнитное поле в пределах этих блоков спокойное, близкое к нормальному. Установлены пространственные связи вольфрама с породами фаций A_1 , B_1 , D и B . В отличие от олова, число рудоносных массивов среди пород фации A_1 несколько выше; возрастает также роль магнитных рудоносных массивов (до 13% фации B); при этом устанавливается, что со слабомагнитными породами ассоциирует преимущественно шеелит, а с магнитными—вольфрамит. Из морфоструктур центрального типа для вольфрама характерны купольные структуры.

Золоторудные зоны размещены в пределах блоков с повышенным либо пониженным уровнем регионального гравитационного поля. В первых расположены золотоносные зоны Нижнего Приамурья, во вторых — зоны Селемжинско-Прихотского районов. В неотектоническом плане для данных зон характерны дифференцированные движения мелких блоков на фоне слабых (Амуро-Охотский свод) и умеренных поднятий краевых частей Сихотэ-Алинского и Баджало-Ям-Алинского сводов. В пределах золотоносных зон выделены рудные районы, подразделенные на две категории.

К первой, наиболее многочисленной категории (60% от всех известных) относятся низко- и среднетемпературные кварцево-золоторудные, золото-серебряные и золото-сурьмяно-ртутные месторождения и проявления, пространственно сопряженные со слабомагнитными диоритами повышенной плотности, над которыми фиксируются положительные локальные аномалии силы тяжести (фа́ции A_1 и A_2).

Ко второй группе относятся месторождения и проявления золото-кварцевой формации в ассоциации с Mo и W , сопряженные с гранитоидами повышенной плотности и нестабильной магнитной восприимчивости (фа́ция A_3). Над районами развития золоторудной минерализации данного типа отмечаются дифференцированные магнитные аномалии интенсивностью до 1500 гамм. Подобного типа контроль рудной минерализации характерен для центральных районов Нижнеамурской зоны, Бикинского района и др. Во всех этих районах аномалиеобразующие тела представлены интрузивными породами нижнеамурского комплекса и его аналогов. Как в первой, так и во второй группе максимальное удаление месторождений и рудопроявлений от plutонических тел, обнаженных либо предполагаемых и оконтуренных по геофизическим данным, не более 6—8 км. Среди морфоструктур центрального типа здесь преобладают крупные кольцевые формы, осложненные мелкими куполами.

Молибден. Четкие региональные признаки для рудопроявлений молибдена в пределах территории отсутствуют. Однако большинство рудоносных plutонических массивов размещено в пределах блоков с пониженным уровнем регионального поля, где молибден часто ассоциирует с оловом и вольфрамом. Подавляющее число рудопроявлений молибде-

на (90%) сопряжено с породами фаций В₁, А₃ и А₁. В отличие от рудопроявлений золота отмечается увеличение числа рудоносных массивов среди магнитных пород фации В и уменьшением среди слабомагнитных пород фации А₁. Для рудоносных интрузивных тел характерны приблизительно равные количественные соотношения как купольных, так и купольно-кольцевых структур.

С в и н е ц и ц и н к. Наибольшее количество месторождений и рудопроявлений свинца и цинка локализовано в блоке с повышенным уровнем регионального фона (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоген). Региональное магнитное поле в районах распространения полиметаллических месторождений повышенное, резко дифференцированное. В неотектоническом плане соответствующие районы обладают относительно стабильным режимом. Наиболее сильные связи свинец и цинк обнаруживают с интрузивными телами средне- и сильномагнитных пород фаций В и Г. Рудоносные интрузивные тела выражены в рельефе в виде четких купольно-кольцевых структур.

Проведенные исследования показывают, что доля магнитных плутонических массивов, контролирующих различную рудную минерализацию, обнаруживает тенденцию к возрастанию в направлении Sn → W → Au → Mo → Pb, Zn от 10 до 72%. Исходя из соображений о различных уровнях генерации магматических расплавов слабомагнитных и магнитных пород (Дортман, 1972; Печерский, 1972), при учете определенных парагенетических связей между металлами и породами фаций, можно предполагать и различные глубины зарождения рудоносных растворов: меньшие для олова и вольфрама, наибольшие для полиметаллов.

Проведенные комплексные исследования дали возможность наметить ряд районов, наиболее перспективных для выявления рудной минерализации.

Эмпирически установлено, что экстенсивность и интенсивность минерализации в пределах выделенных рудоносных районов обратно пропорциональны степени эрозионного среза плутонических тел. Наличие такой зависимости дает возможность подойти к разбраковке локальных участков по степени их перспективности. Выделяются участки: а) умеренно перспективные, характеризующиеся высокой степенью эрозионного среза и невысокой интенсивностью и экстенсивностью рудной минерализации; б) перспективные, обладающие низкой степенью эрозионного среза и высокой интенсивностью и экстенсивностью; в) потенциально перспективные, по степени эродированности интрузивных пород идентичные площадям второй категории, но характеризующиеся низкой экстенсивностью и интенсивностью рудной минерализации. Эти участки представляют интерес для обнаружения скрытого оруденения, причем наиболее перспективными являются площади над нескрытыми плутоническими телами, подчеркнутые отчетливым морфоструктурным рисунком, возникающим над наиболее приближенными к поверхности частями плутонов. Подобная зависимость, по-видимому, может рассматриваться как отражение в рельефе литосферы «изостатической» проекции апикальных частей интрузивов.

Участки со значительным эрозионным срезом и умеренно перспективные для обнаружения коренной минерализации, могут представлять интерес для поисков россыпей.

Проведенный анализ выявил разнообразные и сложные связи различных аспектов локализации рудной минерализации. Многие из выявленных связей требуют дальнейших разработок и уточнений. Однако уже на данном этапе исследований возможно уточнить как региональные перспективы территории путем корректуры ранее намеченных металлогенических зон, так и сделать конкретные прогнозы перспектив отдельных рудных районов на слепую минерализацию.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН МОРЕЙ

Подводное продолжение территории нашей страны, или континентальный шельф СССР, занимает площадь более 6 млн. кв. км. Шельф, с точки зрения общепланетарных представлений, является продолжением структур суши, с позиций же региональной геологии эти обширные подводные пространства могут рассматриваться как «белое пятно». Только геологическая съемка и специализированные геологосъемочно-поисковые работы могут создать основу для развития морской геологической картографии, призванной, в свою очередь, дать научную основу прогноза и направления поисков полезных ископаемых на морском дне.

Главной особенностью любых геологических работ в пределах шельфа является присутствие слоя воды различной мощности, поверхность которой не дает никакого представления о геологическом строении дна. Постоянная водная оболочка позволяет наметить сходство между съемкой шельфа и глубинным геологическим картированием суши. Отсюда при геологической съемке шельфа возникает необходимость применения широкого комплекса технических средств и в первую очередь комплекса косвенных (геофизических) методов исследования.

Основой металлогенических и прогнозных исследований может служить районирование шельфовой зоны по структурно-морфологическим признакам. В этом случае создается наиболее благоприятная возможность широких региональных интер- и экстраполяций данных по суше в пределы ее подводного обрамления. Подобное районирование не только обеспечивает возможность принципиальной оценки шельфа с точки зрения полезных ископаемых, но и служит базой для программирования геологосъемочных работ.

Главнейшие виды полезных ископаемых, наличие которых выявлено в пределах шельфовых областей или обоснованно прогнозируется в их пределах, подразделяются на две основные группы: осадочную и эндогенную.

К осадочной группе относятся скопления жидких и газообразных углеводородов в толще осадочных пород шельфа. В эту же группу включаются некоторые виды пластовых полезных ископаемых осадочного происхождения, россыпи тяжелых минералов, железо-марганцевые и фосфоритовые конкреции, скопления биогенного материала (ракуши), песок и гравий, как строительный материал, и некоторые другие виды полезных ископаемых.

К эндогенной группе относятся месторождения, аналогичные известным на суше и в целом относимые к группе «затопленных», так как в подавляющем большинстве случаев они оказались на дне бассейна значительно позже времени своего формирования. Обе группы полезных ископаемых вовлечены в настоящее время в сферу хозяйственного освоения.

В результате проводимых исследований по выявлению перспектив нефтегазоносности шельфа было доказано существование принципиально новой категории континентально-морских осадочных депрессий, каждая из которых является самостоятельным или вероятно самостоятельным нефтегазоносным бассейном. Осадочная толща этих бассейнов характеризуется весьма сложным распределением мощностей и условий залегания, значительными изменениями стратиграфического диапазона и формационного состава, преобладанием мезокайнозойских осадочных

образований и целым рядом других показателей, благоприятствующих процессам образования и накопления углеводородов.

Если с точки зрения перспектив нефтегазоносности шельф является транзитной зоной на пути прогнозной оценки абиссальных глубин, то вопрос о твердых полезных ископаемых находится в несколько ином положении. После некоторого периода всеобщего увлечения так называемыми «неисчерпаемыми ресурсами» океана было выяснено, что технически доступными и экономически оправданными в настоящее время и в обозримое будущее являются разработки прибрежно-шельфовых (40—50 м глубины) месторождений россыпного типа, баластного и строительного материала и биогенных компонентов. К этой же зоне, как правило, приурочены подводные разработки шахтным и скваженным способами с самой акватории и с берегов.

К концу шестидесятых годов остро ощутилась недостаточность знаний о геологическом строении прибрежного шельфа, а также о распределении и самих твердых полезных ископаемых в его пределах. Возникшая ситуация вышла за рамки ожидаемых объективных трудностей и знаменовала собой конец проспекторского этапа освоения минеральных богатств шельфа. Независимо друг от друга зарубежные лидеры шельфовой геологии (США, Англия, Франция, Япония, Канада) приступили к пересмотру национальных программ морских геологоразведочных работ. Прежде всего основное внимание в новых программных документах уделяется исследованиям в противовес промышленному освоению подводных полезных ископаемых. Разработанная и принятая в США программа «декада» (1971—1980 гг.) исследования американского шельфа содержит в себе соотношение научных и практических элементов — около 1 млрд. долларов в год. Аналогичную схему имеет национальная программа Японии. Одним из основных разделов исследовательской части программ является геологическое картирование шельфовых зон, которое уже выполнено в мелком масштабе на обширных площадях и легло в основу серии сводных геологических карт шельфа США, Франции, Англии и др.

В настоящее время ведутся морские геологосъемочные работы в средних и крупных масштабах (1 : 50 000, 1 : 62 500, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 250 000 и др.), одновременно с разработкой и совершенствованием принципов и методов морского геологического картирования.

Морские геологические исследования осуществляются за рубежом широкой сетью научных и практических организаций, в которую наряду с профилированными учреждениями вовлечены региональные и отраслевые подразделения геологической службы и учебные заведения.

Проблема геологического картирования шельфа постепенно завоевывает подобающее ей место в системе морских геологоразведочных работ Министерства геологии СССР. Основные усилия направлены пока на разработку методики геологической съемки шельфа, хотя уже сейчас поставлен вопрос о своевременности первого обобщения имеющихся данных в виде дежурной карты дна прибрежных акваторий, как этап на пути создания геологической карты шельфа СССР. Одной из принципиальных основ развития геологической съемки шельфа признана теснейшая связь ее с проблемой изучения условий формирования подводных россыпей и закономерностей их размещения на шельфе морей СССР. Кроме того, несомненна связь морского геологического картирования с выявлением перспектив нефтегазоносности.

Согласно проекту программы геологической съемки шельфа СССР, предлагается развернуть работы в трех главных направлениях:

1. Морские региональные геолого-геофизические исследования (МРГИ) могут рассматриваться как мелкомасштабная комплексная

геолого-геофизическая съемка, приближенная к масштабу* не крупнее 1 : 1 000 000. Основой комплекса работ в данном случае являются мобильные аэроаэрофотосъемочные геофизические исследования (магнитометрия, сейсмика, гравиметрия), сопровождающиеся интерпретационными геологическими наблюдениями (пробоотбор) и контролируемые с помощью опорного (параметрического) морского и берегового бурения. Наряду с решением традиционных задач мелкомасштабного геологического картирования МРГИ преследуют конкретную прогнозную цель выявления перспектив нефтегазоносности дна акватории. Проектируются МРГИ только на шельфе, предварительная перспективность которого на основной вид полезного ископаемого определена по комплексу признаков, что однако не исключает постановки перед МРГИ задачи широкого регионального прогноза.

2. Среднемасштабная морская геологическая съемка (СМГС) проводится в масштабе, приближенном к 1 : 200 000. При ее проведении комплексуются методы сейсмоакустики, геолокации, набортной магнитометрии и донной гравиметрии, радиометрии и электроразведки. Ведется профильный легкий и тяжелый пробоотбор, включающий погружное вибрационное бурение. Проводится картировочное бурение с плавучих оснований и осуществляется применение аэрометодов. Представляя собой основную стадию геологосъемочных работ на шельфе, СМГС неразрывно связана с прогнозно-металлогеническими исследованиями подводного продолжения рудных районов приморской суши, что в первую очередь и определяет необходимость постановки и первоочередные районы проведения самой СМГС. В определенных условиях эти работы обеспечивают уточнение основных направлений детальных работ на нефть и газ (второй, поисково-рекогносцировочный этап нефтепоисковых работ).

3. Крупномасштабная (специализированная) морская геологическая съемка (КСМГС) проводится в масштабах, приближенных к 1 : 50 000 (1 : 25 000). Цели и задачи КСМГС определяются в соответствии с основными положениями организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). Работы ведутся расширенным, по сравнению с предыдущей стадией, комплексом геолого-геофизических методов. Исследования в процессе КСМГС определяются как специализированные в связи с четкой ориентацией их на определенный вид полезного ископаемого.

Высокая стоимость работ, а также уникальность некоторых видов морских геологических исследований обуславливают необходимость получения максимального практического эффекта на единицу выполненного объема крупномасштабных работ. При благоприятных условиях возникает реальная необходимость безотлагательной детализации исследований, т. е. практический переход к съемочно-поисковой стадии. Специализация объясняется, кроме того, особенностями комплексирования методов в зависимости от главного направления исследований. Таким образом, металлогенические и прогнозные исследования при КСМГС направлены на изучение подводного продолжения рудных районов приморской суши, а также районов, выявленных на предшествующих стадиях морской геологической съемки.

Подводные рудные районы изучаются с целью выявления в их пределах контуров рудных узлов и рудных полей, что не исключает возможности установления вероятного расположения отдельных месторождений. Все три группы съемочных работ на шельфе пока ведутся только в опытно-методическом или опытно-производственном плане.

Прогнозно-металлогенические исследования на стадии КСМГС практически сосредоточены на одном объекте, который может быть объеди-

* Понятие «приближенный масштаб» введено в связи с отсутствием разработанных кондиций.

нен под общим названием «подводные россыли». Изучению подвергается толща позднекайнозойских отложений, причем имеется в виду, что россыли различных минералов тяготеют к определенным генетическим типам отложений. Так, например, концентрации золота и олова свойственны континентальным (аллювиальным, элювиальным) образованиям, а повышенное содержание алмазов отмечается в аллювиальных и прибрежно-морских осадках.

Несмотря на отсутствие разработанной методики прогнозирования шельфовых россыпей, накопленный в настоящее время опыт разноплановых и разномасштабных исследований позволяет наметить общую схему работ указанного направления. На этапе проектирования КСМГС, а также в период сбора, систематизации и анализа результатов предшествующих исследований выясняются общие геолого-геоморфологические предпосылки, способствующие высвобождению и массовому сносу полезных минералов с суши в область шельфа. Определяется наиболее целесообразное размещение площадей съемки по отношению к зонам эндогенного и экзогенного оруднения в пределах приморской суши. Подвергаемая анализу континентальная зона в большинстве случаев не выйдет за пределы ближайшего водораздела.

В процессе съемки изучается геологическое строение верхней части осадочного чехла прибрежного шельфа и выясняются его геоморфологические особенности. Прогнозно-металлогеническая специализация практически не вносит изменений в рациональный комплекс методов, включающих геологическое эхолотирование, сейсморазведку (геоакустику), электроразведку, магнитометрию (придонную магнитную съемку и кап-пометрию), радиометрию и ядерно-геофизические исследования. Перечисленные косвенные методы исследования дают информацию о физических свойствах поверхности дна или его приповерхностной части, а также о соответствующем физическом разрезе, что требует надежной геологической интерпретации. В разряд прямых наблюдений в этом случае входит поверхностное опробование и опробование по разрезу до плотика включительно.

Большие возможности при выяснении условий россылеобразования и при прямых поисках подводных россыпей имеет применение геолого-геоморфологического дешифрирования аэрофотоснимков мелководных участков прибрежного шельфа.

В разрезе рыхлых отложений выделяются песчаные аккумулятивные тела и поверхности плотиков, производится расчленение рыхлых образований по литологическому составу. Тела оконтуриваются в плане с регистрацией фациальных выклиниваний и размывов. Определяется мощность отложений по профилю. Фиксируются формы донного рельефа, представляющие собой аккумулятивные образования типа береговых валов, гряд, террас и т. п. Выявляются основные черты погребенного рельефа в виде древних долин, ложбин стока, береговых линий и т. п.

Особое место при морской геологической съемке, направленной на выяснение перспектив россылеобразования, занимает изучение фациальной и литодинамической обстановки концентрации полезных минералов и выявление возможных связей этой обстановки с конкретными геолого-геоморфологическими, структурными, гидродинамическими и другими условиями. Учет активных гидродинамических факторов (волнения, течения и т. п.) вносит новые элементы в методику съемки и одновременно с необходимостью восстановления палеогидрогеологической обстановки входит в состав основных элементов прогнозирования.

В комплект морских геологических карт включается карта динамики рыхлого покрова прибрежного шельфа, на которой специальными условными обозначениями показывается основная тенденция развития донных процессов рельефо- и осадкообразования. Анализ комплекса полученной при съемке информации, а также анализ карты современных

донных осадков, карты четвертичных отложений, геоморфологической карты, а также карты поверхности коренного субстрата, совмещенных с картой динамики, позволяет выявить основные элементы, подлежащие отражению на прогнозной карте (схеме) изучаемой подводной территории.

В заключение можно назвать десять основных признаков для прогнозной оценки перспектив прибрежного шельфа на россыпи: 1) уклон дна, 2) рельеф дна, 3) ширина шельфа, 4) контуры внешнего края шельфа, 5) рельеф прилегающей суши, 6) система питания шельфа обломочным материалом, 7) тектоническое строение прибрежно-приморской зоны, 8) геология и металлогения береговой зоны, 9) геология и металлогения водосборных бассейнов, 10) гидродинамические факторы.

Пути повышения эффективности прогнозно-металлогенических исследований в процессе МГС можно видеть в повышении эффективности и совершенствовании самих съемочных работ, например, на основе разработанной во ВСЕГЕИ методики рекогносцировки донной обнаженности (РДО), и в разработке принципов и методов оценки перспектив прибрежного шельфа на тонкие (нешлихуемые) полезные компоненты (золото, платина).

Сущность методики РДО заключается в рациональном комплексировании четырех основных видов прямых и косвенных геолого-геофизических наблюдений (сейсмаоакустика, боковая локация, эхолотирование, легкий пробоотбор). Выявленные на профиле аномальные участки дна с выходом на его поверхность пород, имеющих различные физические свойства, фиксируются буйковой разметкой. Обратный ход по тому же профилю дает возможность методом легкого пробоотбора собрать образцы пород разного состава, происхождения и возраста. Сеть прямых и обратных галсов может (теоретически) дать возможность рекогносцированной оценки геологического строения картируемой подводной территории на определенную глубину без применения или с ограниченным объемом бурения.

Перечисленные проблемы геологической съемки шельфа и связанные с ней вопросы поисков полезных ископаемых на морском дне решаются большими коллективами сотрудников ВНИИМОРГЕО, профилированных региональных научно-производственных объединений, ВСЕГЕИ, ЛАЭМ, а также организациями АН СССР и других министерств и ведомств и отражены в работах Е. Н. Невеского, А. А. Аксенова, В. Г. Ульста, В. В. Шаркова, Ю. Н. Кулакова и многих других, в том числе автора настоящего сообщения.

КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВАЖНЕЙШИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ТЕРРИТОРИИ СССР

Д. В. Рундквист, В. И. Васильев, Л. Н. Дуденко, Э. И. Кутырев

ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ

Открытие при геологической съемке в пределах площадей, намеченных ранее на металлогенических картах, многих месторождений и существенный прогресс, достигнутый за последние годы в области изучения закономерностей размещения, условий формирования и критериев прогноза месторождений полезных ископаемых, свидетельствуют о возросшем уровне теоретических обобщений и необходимости более полного использования прогнозно-металлогенических исследований при производстве различных видов геологических работ.

Первоочередной задачей является более широкое применение результатов прогнозно-металлогенических исследований как при планировании геологической съемки, так и в процессе полевых и камеральных работ. Представляется, что при этом могут быть решены две актуальные задачи: 1) повышена эффективность прогнозно-металлогенических исследований за счет оперативного внедрения, проверки и уточнения прогнозных рекомендаций; 2) повышена эффективность геологосъемочных работ за счет более полного использования последних разработок в области металлогении и прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

Необходимость широкого использования результатов прогнозно-металлогенических исследований на разных стадиях осуществления геологосъемочных работ (от планирования до создания карт полезных ископаемых и прогноза) определяет, в свою очередь, новые требования к прогнозным и металлогеническим исследованиям, в частности: а) большую конкретизацию перспективных площадей с указанием наиболее вероятных рудных формаций, б) количественную оценку степени перспективности с учетом геологической изученности, вероятных масштабов оруденения и экономических факторов, в) доведение разработок закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых до сформулированных четко критериев прогнозной оценки, а последних до создания алгоритма прогноза — определенной последовательности применения критериев прогноза для выделения локальных перспективных площадей.

С этой целью в 1970 г. начат выпуск брошюр по региональным и локальным закономерностям размещения различных месторождений (вып. 1—12; 1970—1973 гг.). Критерии прогнозирования главнейших формационных типов полезных ископаемых изложены в книгах «Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных ископаемых» (Л., 1971, 1972).

В порядке накопления опыта и разработки принципов и методики прогнозирования с количественной оценкой перспектив территории СССР большим коллективом геологов-металлогенистов в последнее время предприняты попытки создания ряда обзорных карт по главнейшим формационным типам экзогенных и эндогенных рудных и неметаллических полезных ископаемых. Оценены перспективы примерно 50 главнейших рудных формаций.

Прогнозирование базируется на широком использовании формационных методов. Анализ проводится в последовательности:

1. Выделяются и прослеживаются на территории СССР определенные парагенезисы формаций и отдельные геологические формации (осадочные, вулканогенные, интрузивные, гидротермально-метасоматические, метаморфические, коры выветривания), отличающиеся набором слагающих их горных пород и структурной связью (закономерным чередованием в разрезе — ритмичностью или последовательностью расположения в плане и по вертикали — зональностью).

2. Намечаются потенциально рудоносные геологические формации, т. е. геологические формации, обычно сопровождающиеся промышленной минерализацией.

3. Устанавливаются связи геологических рудоносных формаций и рудных формаций и выясняются признаки рудоносной геологической формации, указывающие на возможность образования в связи с ней промышленных концентраций — рудных формаций.

4. Площади распространения перспективных рудоносных геологических формаций детализируются по благоприятным и неблагоприятным факторам.

5. Используются известные закономерности размещения прогнозируемой рудной формации и критерии оценки перспективности территорий на данную формацию.

6. Производится количественная оценка перспектив по аналогии с хорошо изученными районами с поправками на возраст, метаморфизм, складчатость, различную фоновую зараженность формаций, дисперсию распределения отдельных элементов и т. д.

В итоге на основе формационного анализа для каждой прогнозной площади может быть составлена «формула прогноза», указывающая формационный тип руд (а следовательно, качество руд, элементы-примеси, средние масштабы возможных месторождений, так как они относительно выдержаны для однотипных формаций), вероятные содержания металлов в рудах, прогнозные запасы, глубину, до которых они подсчитаны, степень достоверности прогноза и степень изученности территории.

Рудная формация при таком подходе понимается как часть или разновидность геологической формации, характеризуется статистически устойчивым набором минеральных парагенезисов (в том числе содержащих полезное ископаемое) и закономерностью их пространственного расположения (зональностью, ритмичностью). Подобный подход к рудным формациям отражает традиционное требование к выделению их как характерных типичных «образов» месторождений, позволяющих переносить закономерности генезиса и размещений, установленные на одном из них, более изученном, на другие, относимые к той же рудной формации. Вместе с тем структурно-вещественный подход (см. «Основы научного прогноза рудных и нерудных полезных ископаемых», Л., 1971) исключает на стадии выделения геологических объектов (формаций) генетические, тектонические и другие обычно неоднозначно трактуемые понятия.

Структурно-вещественный анализ в исследовании геологических образований в своем дальнейшем развитии применительно к прогнозированию привел к разработке принципов системного анализа, методическая сторона которого остается еще недостаточно разработанной. Теоретической основой системного анализа является концепция уровней организации вещества, сформулированная В. И. Драгуновым и др., — возможность выделения объектов различных уровней организации по одному структурно-вещественному принципу: элементы + структура их свя-

зи=минерал; минералы+структура их связи=порода (минеральный парагенезис); породы+структура их связи=формации; формации+структура их связи=парагенезис формаций и т. д. до оболочки+структура их связи=Земля. Далее, от образований высоких уровней ко все более низким, производится анализ перспективности на комплексы полезных ископаемых. При этом принимается во внимание не только связь рудных и геологических формаций, но и связь рудоносности геологических формаций с особенностями вхождения их в образования всех более высоких уровней. В результате выделяются дополнительные важные для прогноза характеристики — связь рудных формаций с глубинным строением, типом разреза земной коры и т. д.; закономерности размещения оруденения рассматриваются на всех «уровнях» — элементы (геохимические ореолы), минералы, породы и т. д. (см. далее тезисы Э. И. Кутырева и др.). Открываются новые возможности сравнительного анализа. Например, особенности строения рудных формаций, распределение в них химических элементов, минералов и парагенезисов раскрывают новые закономерности динамики формирования зональности, размещения слепых тел и т. д.

Слабой стороной такого системного анализа является еще недостаточная четкость выделения объектов высоких уровней в интервале формация — оболочка, отсутствие классификации этих наиболее крупных образований земной коры, а также сложность выделения таких тел и установления их границ и т. д.

Историко-эволюционный анализ при прогнозировании

Этот анализ базируется на установленных закономерностях исторического развития тектонических структур и формирования месторождений полезных ископаемых, с ними связанных. Теоретические основы для него заложены работами С. С. Смирнова, Ю. А. Билибина и их последователей. Основным объектом анализа является тектоническая структура различных масштабов.

Прогнозирование предполагает:

1. Выделение тектонических структур различных масштабов: от планетарных — платформ, складчатых поясов, до структурных зон — прогибов и поднятий на платформах, зон складчатых областей, отдельных тектонических блоков и т. д.

2. Установление состава и особенностей строения выделенных тектонических структур — слагающих их парагенезисов формаций, формаций, пород.

3. Восстановление временного диапазона развития выделенных структур, этапности и стадийности с абсолютной и относительной (по отношению к инверсии, складчатости, фазам магматизма) датировкой отдельных рудоопределяющих событий.

4. Анализ эволюционных, возрастных и фациальных рядов формаций.

5. Использование закономерных связей рядов формаций, пород, длительности их развития, диапазона эволюции и степени контрастности по составу последовательно возникающих продуктов.

6. Оконтуривание с учетом закономерностей размещения рудных формаций более локальных площадей в пределах анализируемых тектонических структур.

7. Оценка степени перспективности и прогнозных запасов выделенных площадей методом аналогий, как и в предыдущем случае.

Подобный историко-эволюционный анализ, детализированный в последние годы по типам складчатых областей, применительно к областям тектоно-магматической активизации, дополненный рядом общих закономерностей эволюционного развития минеральных образований в истории геологического развития Земли, рядов осадочных, вулканогенных, интрузивных, рудных формаций и т. д., является действенным методом прогнозирования. Незавершенными, как и в предыдущем случае, остаются вопросы количественного прогнозирования.

Метод аналогий с учетом влияния отдельных факторов без количественного выражения роли каждого из них остается, конечно, далеко не совершенным еще инструментом прогнозных исследований.

Об использовании математических методов при прогнозировании

За последние десять лет достигнуты определенные успехи в разработке методов количественного прогнозирования на базе ЭВМ (работы Н. Н. Боровко, А. Н. Бугайца, Ю. А. Воронина, Л. Н. Дуденко, Р. М. Константинова, А. П. Куклина и др., см. «Основы научного прогноза...», Л., 1971).

Получены первые результаты использования автоматизированных систем для оценки перспектив отдельных территорий — по Cu и Ni для Кольского п-ва, по Sn, Au, Hg для Северо-Востока СССР, по Pb, Zn и др. для Забайкалья. В связи с обсуждением этих вопросов на совещании и семинаре, проведенных во ВСЕГЕИ в конце 1971 и 1972 гг., вопросы применения математических методов при прогнозных исследованиях не включены в программу настоящего семинара. Укажем лишь основные направления ведущихся разработок.

1. Применение ЭВМ при количественной оценке перспектив отдельных площадей на основе анализа карт м-ба 1 : 200 000, 1 : 50 000. При решении этой задачи выделяются два этапа: а) количественная оценка роли отдельных факторов, контролирующих оруденение; б) оконтуривание перспективных территорий и оценка их по совокупности различных факторов.

2. Применение ЭВМ при количественной оценке потенциальных запасов по закономерностям концентрации рудных элементов, дисперсии их распределения, количественной оценке степени сложности территорий.

3. Использование математических методов при оценке вероятного количества месторождений и их суммарных запасов, которые могут быть обнаружены на данной территории к определенному сроку (1980, 1990 и т. д. годам).

4. Разработка системы оптимального планирования геологосъемочных и поисковых работ — наилучшего способа распределения материальных и временных поисковых ресурсов.

Основные затруднения при применении математических методов обработки геологических материалов для прогноза связаны с необходимостью дальнейшей формализации геологических понятий и разработки новой системы сбора и обработки первичных фактических данных.

Критерии прогноза рудных формаций как руководство к оценке перспектив территорий при проведении геологосъемочных работ и составлении детальных карт прогноза

Разработка критериев прогнозирования — следующая стадия исследований после изучения закономерностей размещения полезных ископаемых (см. выпуски брошюр по региональным и локальным закономерностям размещения различных месторождений, 1971—1973 гг.). На-

метились два различных по объекту исследования направления в изучении критериев — исследование критериев прогнозной оценки отдельных геологических структур и критериев прогнозной оценки геологических формаций на те комплексы полезных ископаемых, которые могут быть с ними связаны.

Вместе с тем имеется целый ряд общих методических приемов, широко используемых в настоящее время, помимо ставших уже традиционными методов анализа рудоконтролирующих факторов, магматических тектонических, литологических. В частности, укажем на следующие новые методы, которые целесообразно использовать при прогнозировании.

Структурно-геометрические методы. Эти методы базируются на признании фактов значительно более широкого, чем ранее предполагалось, правильного структурно-геометрического расположения геологических тел, пород, руд, формаций в пространстве и, как следствие этого, использование при анализе закономерностей размещения рудных тел, месторождений понятий симметрии, гомологии, трансляций (работы В. И. Богацкого, В. И. Васильева, В. Немца, Ф. Я. Корытова, Я. Кутины и др.). В частности, для многих месторождений выявлено закономерное радиально-лучевое, план-параллельное и решетчатое расположение рудоконтролирующих элементов с определенным «шагом» — периодичностью в размещении отдельных месторождений и рудных тел вдоль рудоконтролирующих элементов. Предложена специальная методика анализа закономерностей расположения рудных тел в пределах «рудонесной поверхности» (работы А. Н. Кена, В. И. Васильева), в которой закономерности размещения рудных тел описываются наиболее просто. Выявлена симметричность расположения металлогенических зон в пределах планетарных структур, складчатых поясов и провинций по отношению к поднятиям, трогам, средним массивам.

Методы палеореконокструкций. В основе большего разнообразия методов палеореконокструкций лежит восстановление геологических и физико-химических условий, существовавших в период рудообразования. Методы широко используются при анализе закономерностей размещения как эндогенных, так и экзогенных месторождений. Задача исследователя заключается в восстановлении главнейших параметров среды рудообразования, в частности: 1) палеотектонических условий в период рудообразования (поднятие, прогиб, трог и т. д.) и тектонического режима анализируемой структуры; 2) палеогеоморфологических условий и динамики развития рельефа, определяющих особенности осадконакопления, вулканизма, глубины залегания рудных тел от поверхности и т. д.; 3) особенностей климатических обстановок в период рудообразования; 4) палеогидрогеологического режима — степени насыщенности пород водами, путей их миграции, уровня смены окислительно-восстановительного режима, поверхности парообразования и т. д. При применении методов палеореконокструкций для экзогенных месторождений установлена важная роль границ палеоподнятий, смены ритмов, фаций в строении осадочных пород, влияние границ раздела с различными значениями pH , Eh и др. Для эндогенных месторождений, помимо связи оруденения с магматизмом, тектоникой и литологией, установлено важное значение анизотропного распределения давлений и температуры в горных породах, гидрогеологических и литохимических барьеров и др. (см. далее тезисы Е. А. Баскова, В. В. Соловьева).

Методы, использующие зональное строение геологических и рудных формаций. После длительной дискуссии о природе зональности — полиасцендентной или моноасцендентной, стадийной или отложения и т. д. — исследователями в последние годы доказана значительная универсальность зонального распределения рудных элементов в геохимических ореолах (работы С. В. Григоряна и Л. Н. Овчинникова) и рудных телах месторождений различного возраста, формационной и генетической при-

надлежности. Зональное (ритмичное) размещение пород, сохраняющееся в основных чертах в геологических формациях — интрузивных, гидротермально-метасоматических, вулканогенных, осадочных, а также связанных с ними рудных формациях, позволяет широко использовать закономерности распределения рудных элементов, минералов, горных пород для целей диагностики формаций, а вместе с тем и при прогнозировании рудных формаций. Отличия в зональных рядах рудных элементов месторождений, связанных с различными формациями, заключаются в неодинаковых ассоциациях элементов в отдельных зонах, заменах одних элементов другими или в незначительных взаимных перемещениях отдельных элементов. Важные прогнозные следствия вытекают также из принципа подобия зональности в образованиях различных масштабов: в прожилках и жилах, в жилах и протяженных зонах, рудном поле и металлогенической зоне.

Методы, использующие закономерности эволюционного развития минералов, пород, формаций. Ю. А. Билибин подчеркивал, что «схема нормальной возрастной последовательности минеральных и интрузивных комплексов имеет значительно более глубокий смысл и является тесно увязанной с общим ходом геологического развития» (1955, стр. 16). В настоящее время можно считать установленным важное для прогноза значение: а) возраста развития оруденения и длительности формирования минерализации; б) временного перерыва между завершением осадконакопления, проявлением складчатости или магматизма в данной зоне и периодом рудообразования; в) направленности процесса породо- и минералообразования в ритмах и циклах различных уровней, порядков и масштабов; г) диапазона и степени контрастности состава пород и руд, образующихся в ходе эволюции; д) различных количественных соотношений отдельных продуктов, возникающих в ходе эволюции: формаций пород, руд; е) установление хронологических (в частном случае стратиграфических) перерывов в ходе процессов осадконакопления, вулканизма, магматизма.

Все это резко расширяет возможности применения геохронологических и генетических (в части восстановления последовательности развития процессов) исследований при анализе геологических данных с целью прогнозных построений.

Применение новых методов прогнозирования, по существу, уже в настоящий момент привело к принципиально новым возможностям научного прогнозирования стратифицированных рудных формаций, объединяющих экзогенные и эндогенные, рудные и нерудные месторождения, общим для которых является только закономерное положение в стратиграфическом разрезе, выдержанность зональности оруденения по отношению к первичному напластованию пород и фацальной смене по простиранию. В целом можно констатировать, что и в этой области изучения полезных ископаемых достигнут такой же высокий уровень разработки вопросов научного прогнозирования, который ранее мог быть отмечен только для месторождений угля, горючих сланцев, нефти и газа.

Остаются нерешенными задачи разработки столь же научно обоснованных и действенных критериев прогнозирования «несогласных» секущих рудных формаций — наиболее сложных геологических объектов с изменчивостью многих параметров.

Знание и использование новых выявленных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых различных формационных типов, как стратиформных, так и несогласно залегающих, выявление структурно-геометрических закономерностей размещения геологических тел, проведение палеореконструкций, а также более углублен-

ное исследование зональности и последовательности образования (рядов) формаций, пород, руд — необходимые элементы современного анализа данных на стадиях проведения средне-крупномасштабной геологической съемки и составления карт полезных ископаемых и прогноза.

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Ю. Г. Старицкий, В. Е. Попов

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА *

Несмотря на то, что учтенные запасы железных руд в СССР обеспечивают современную потребность в них на 200 лет, проблема расширения сырьевой базы металлургической промышленности остается весьма актуальной. Это обусловлено: 1) неравномерным распределением запасов разведанных месторождений (77% их сосредоточено в европейской части СССР и на Урале); 2) значительной долей в запасах (22%) труднообогатимых руд; 3) недостаточно крупными размерами большинства действующих и строящихся рудников. В настоящее время экономически целесообразно освоение месторождений с запасами не менее 0,5—1 млрд. т, причем в металлургической промышленности наметилась тенденция к использованию богатых малофосфористых руд.

В связи с широким диапазоном условий их образования нельзя выделить какой-либо определенный тип структур, перспективных для поисков железа. Различные по составу и генезису месторождения можно встретить в самых разнообразных по составу, возрасту и структуре образованиях. Поэтому целесообразно выделить и рассмотреть железорудные формации — группы месторождений, сходных по вещественному составу руд, характеризующихся выдержанными закономерностями в отношении рудной зональности и близкими геологическими условиями образования. Месторождения каждой рудной формации обычно имеют довольно выдержанные геолого-экономические параметры. Среди большого числа железорудных формаций, заслуживающих промышленного освоения, следует выделить 11 наиболее значимых. Краткая характеристика их дана в табл. 1. Региональные и локальные критерии прогноза железорудных формаций приведены в табл. 2. Указанными формациями, по современным данным, исчерпываются перспективные типы железорудных месторождений.

Исходя из задачи расширения железорудной сырьевой базы на востоке страны и пользуясь намеченными прогнозными критериями, а также определением формационной принадлежности выявленных месторождений и рудопроявлений, рассмотрим потенциальные возможности основных перспективных районов азиатской части СССР.

В *Южной Якутии* и *Хабаровском крае* известно несколько районов с хорошо изученными месторождениями существенно магнетитовых

* При подготовке доклада использованы материалы объяснительной записки к Карте прогноза железных руд в СССР м-ба 1:7 500 000, составленной Ю. Г. Старицким, Д. В. Рундквистом, К. Б. Ильиным, Л. И. Боровиковым, В. А. Броневым, А. Я. Дубинским, И. Я. Дядькиной, Е. И. Зубцовым, Д. А. Кириковым, Н. С. Маличем, Н. П. Михайловым, Е. П. Миронюком, И. А. Петровой, В. Е. Поповым, В. К. Путинцевым, В. К. Ротманом, В. В. Руссом, Е. В. Тугановой, Г. Н. Шапошниковым, Р. И. Шуруповой.

Характеристика главнейших железорудных формаций СССР

Железорудные формации	Оценка промышленной значимости для СССР (доля в %)		Вещественный состав руд				Обычные содержания железа (%)	Вредные примеси			Категория обогащения*	Максимальные размеры месторождений	Типичные месторождения
	Добыча	Учетные запасы	Рудные минералы		Нерудные минералы	S		P	Прочие				
			Главные	Второстепенные									
Железистые кварциты	44,5	33	Магнетит	Гематит	Кварц	30—40	Следы	—	—	II—III	Весьма крупные	Кривой Рог, КМА, Карсапай, Костамукша, Кимкан	
Магнетитовая скарновая	20,0	8,0	Магнетит	Мартит	Силикаты скарнов	30—40	<1	<0,1	Pb, Zn	II	Крупные	Соколовское, Сарбайское, Таежное, гора Магнитная	
Мартиты и бурые железняки кор выветривания	18,6	25,5	Мартит	Лимонит	Кварц	Мартиты 55—70	Следы	—	—	I	Весьма крупные (мартиты), мелкие (бурые железняки)	КМА, Кривой Рог	
Титаномагнетитовая	6,8	10,7	Магнетит	Ильменит	Амфиболы, пироксены, плагиоклазы	16—40 (TiO ₂ до 20%)	<1	Следы	Cu	II	Весьма крупные	Качканар, Кусинское, Пудожгорское	
Магнезиоферритовая скарновая	3,5	1,6	Магнезиоферрит	Гематит, магнетит	Силикаты и карбонаты скарнов	30—45	<1	Следы	Mg	II	Крупные	Ангаро-Илимская группа	
Лептохлоритовая (оолитовая)	3,6	16,6	Лептохлориты	Гематит, лимонит, сидерит	Глинистые минералы, карбонаты	32—40	<1	0,5—2,0	—	I—III	Весьма крупные	Аятское, Керченское, Лисаковское, Бакчарское	
Апатит-перовскит-магнетитовая	2,3	0,9	Магнетит	—	Апатит, форстерит, карбонаты	32—68	Следы	<2	Mg	II	Средние	Ено-Ковдорское, Африканда	
Сидеритовая	0,7	0,9	Сидерит	Гидрогематит, лимонит	Карбонаты	25—38	<1,7	<0,1	—	I	Средние	Бакальское, Березовское, Липецкое	
Кремнисто-гематитовая	—	2,8	Гематит	Магнетит, псиломелан	Кварц, халцедон, хлориты	35—60	<1	>0,5	—	III	Крупные	Ангаро-Питский бассейн, Атасуйская группа, Удско-Шантарская группа, Коргонское	
Апатит-магнетитовая	—	—	Магнетит	Гематит	Амфиболы, скаполит, кварц	35—65	<1	>2	Cu, Zn	I—II	Средние	Лебяжинское, Холзунское	
Магнетитовая (пляжевых песков)	—	—	Магнетит, титаномагнетит	—	Полевые шпаты, амфиболы, кварц	7,5—50 (TiO ₂ до 35%)	—	—	—	II	Весьма крупные	На побережье о-ва Итурупа, Кольского п-ва, на Черноморском побережье Кавказа	

* I — не требующие обогащения; II — с простой схемой обогащения (в основном магнитная сепарация); III — требующие применения сложной схемы обогащения.

Региональные и локальные критерии прогноза железорудных формаций.

Железорудная формация	Региональные		
	Геотектонические	Магматические и метаморфические	Литологические и геохронологические
Железистые кварциты	Древние щиты и докембрийское основание геосинклинальных областей	Метаморфизованная спилит-кератофировая („лептитовая“) формация	Осадочно-вулканогенные толщи архея (?) и раннего протерозоя
Апатит-магнетитовая	Геосинклинальные и протогеосинклинальные области	„Лептитовая“ формация и ее аналоги	Осадочно-вулканогенные толщи протерозоя и палеозоя
Титаномагнетитовая	Геосинклинальные области фемического и сигнала-фемического профиля	Интрагеосинклинальные зоны (структуры демиссионной стадии развития)	Габбро-перидотитовая, анортитовая формация
Магнетитовая скарновая		Интрагеосинклинальные зоны (структуры инверсионной и орогенной стадий развития)	Гранит-гранодиоритовая формация
Магнезиоферритовая скарновая	Синеклизы и авлакогены платформенных областей	Трапповая формация	Осадочно-вулканогенные и осадочные (карбонатные и туфовые) толщи
Кремнистогематитовая	Синеклизы платформенных областей Геосинклинальные области: краевые части прогибов начала демиссионной стадии и наложенные мульды орогенной (субплатформенной) стадии	Толеитовая и спилито-кератофировая формация	Осадочно-вулканогенные и „паравулканогенные“ толщи PR ₂₋₃ , Cm, D—C, (J—Cr, N—Q)
Сидеритовая	Крупные мульды в пределах срединных массивов геосинклинальных областей, впадины мезозойских областей активизации	Не выяснены. Возможна связь с основным вулканизмом	Карбонатные, реже угленосно-карбонатные толщи

(Составлена при участии А. А. Папчинского)

Локальные			
Структурные	Магматические	Литолого-фациальные	Геохимические
Локальные поднятия в протогеосинклинальных прогибах; „захваченные“ моноклинали между древними блоками	Кварцевые кератофиры (лептиты) и метадиабазы (ортоамфиболиты) повышенной щелочности	Тонкое переслаивание кремнистых и железистых прослоев в толщах, измеряемых километрами	—
Краевые части прогибов начала демиссионной стадии и поднятия внутри них	Крупные интрузии гранитового и сиенитового состава	Кислые („лептитовые“) игнибритовые толщи, подстилаемые в районе месторождений основными вулканогенными породами	Калинатровый метасоматоз в подстилающих рудные тела кислых вулканогенных породах
Придонные и приконтактовые части интрузий, разломы внутри них	Грубозернистые габбро, габброперидотиты в апикальных частях интрузивных тел	—	Хлоритизация и уралитизация вблизи наиболее крупных рудных тел
Антиклинальные складки и оперяющие разломы в околосинклинальных зонах интрузий. Падение вмещающих пород к массиву или рудоподводящим разломам	Гранодиориты, монзониты, диориты, плагиограниты, реже граниты и сиениты	Пёстрые по составу осадочно-вулканогенные толщи; доломитизированные карбонатные породы	Щелочной метасоматоз и интенсивное скарирование
Крупные разломы, главным образом в бортах синеклиз и авлакогенов	Базальтовые трубки взрыва и (или) интрузии долеритов повышенной щелочности	—	
Прибрежные части палеобассейнов вулканической суши; периферические части вулканических аппаратов	—	Вулканогенные и кремнисто-вулканогенные толщи вне ассоциации с известняками	Яшмы и другие силицилиты в составе рудовмещающих толщ; окварцевание и серицитизация в виде широких полей — древние фумарольно-сульфатарные коры выветривания
Зоны широкого развития сбросов и сбросо-сдвигов	—	Массивные, иногда органогенные (водорослевые) известняки	Хлоритизация, доломитизация и анкеритизация вблизи рудных залежей

Железорудная формация	Региональные		
	Геотектонические	Магматические и метаморфические	Литологические и геохронологические
Лептохлоритовая (оолитовая)	Синеклизы платформенных областей и геосинклинальные области (интрагеосинклинальные зоны демиссионной стадии развития)	—	Песчано-глинистые и флишеидные толщи O, S, D, T—J, Cr, Pg, N
Апатит-перовскит-магнетитовая	Глубинные разломы в пределах древних платформ	Щелочно-ультраосновная (карбонатитовая) формация	—
Мартиты и бурые железняки кор выветривания	Области завершенной складчатости, щиты и массивы древних платформ	—	Области интенсивного развития площадных и линейных кор выветривания (Pt, D, P—T), J, Cr Pg, N, Q
Магнетитовая россыпная	Прибрежные и береговые области геократических шельфов	Магматические формации основного состава в прибрежных областях как источник размыва	Пляжевые пески (Pg, N), Q

руд: уникальный Дес-Леглиерский с рудами магнезиально-силикатного типа, Гаринский с магнетитовыми рудами метаморфизованной кремнисто-гематитовой формации и Мало-Хинганский с рудами формации железистых кварцитов. Для Дес-Леглиерского района, помимо дополнительной разведки месторождений, необходимо крупномасштабное опоскование территории к северу и востоку от них, что может увеличить запасы руд по всем категориям до 3,5 млрд. т. Дополнительное увеличение запасов можно достигнуть за счет Чарского и Сиваканского районов, где помимо наземных крупномасштабных работ необходимо проведение аэромагнитной съемки.

Важное значение может иметь Удско-Шантарский район, где выявлено до 70 рудопоявлений вулканогенно-осадочного типа с рудами магнетит-гематитового состава с содержанием железа 25—55%. Геологические запасы их, по предварительным подсчетам, превышают 10 млрд. т. Целесообразно продолжить здесь крупномасштабные поисково-съемочные и тематические работы, а в краевых частях Амурско-Зейской депрессии также аэромагнитные работы и разбраковку выявленных аномалий.

В *Алае-Саянской горной области* установлены месторождения магнетитовой скарновой, апатит-магнетитовой, титаномагнетитовой и кремнисто-гематитовой формаций, а также формации железистых кварцитов. Наибольший интерес до последнего времени представляла первая, проявленная главным образом в Горной Шории, с суммарным запасом около 2 млрд. т. Перспективной для дальнейших поисков этой

Локальные			
Структурные	Магматические	Литолого-фациальные	Геохимические
Положительные структуры конседиментационной природы (подводные валы и др.)	—	Континентальные (озерные) терригенные и флишевые (граувакковые) толщи	Высокая железистость вмещающих толщ
Глубинные разломы, ограничивающие крупные платформенные зоны	Многофазные конфокальные интрузии (от ультраосновных в центральной части к щелочным на периферии)	—	Обильная вкрапленность магнетита во вмещающих интрузивных породах; карбонатизация, флогопитизация
Погребенные палеоподнятия	—	Коры выветривания на железорудных телах и ультраосновных породах	Зональность, соответствующая подвижности элементов в зоне гипергенеза (вынос Ca, Na, Mg, K, накопление Fe, Ga, Al, Ti и т. д.)
—	—	Фация песков в литорали и сублиторали	Полимиктовый состав вмещающих осадков

формации представляется западная часть Горного Алтая с прогнозными запасами порядка 1—2 млрд. т.

Новым перспективным типом являются месторождения апатит-магнетитовой формации, к которой, по-видимому, относится Холзунское месторождение на Алтае, имеющее черты сходства с типом Кируна в Швеции. В Северо-Западном Алтае выявлено также Харловское месторождение титаномагнетитов с прогнозными запасами в несколько миллиардов тонн. Общая длина перспективно рудоносной зоны на западе Алтая 400 км при ширине 25—50 км. Перед возобновлением крупномасштабных поисково-съёмочных работ в этой зоне необходима постановка тематических исследований и разработка критериев прогноза месторождений магнетитовой, апатит-магнетитовой и титаномагнетитовой формаций применительно к данному району.

Ряд перспективных районов располагается в области южного обрамления Сибирской платформы. Это Еравнинский, Курбинский, Сангилен-Мугурский и другие с прогнозными запасами порядка 2 млрд. т.

Сибирская платформа является весьма перспективной железорудной провинцией, содержащей руды магнезиоферритовой, скарновой, кремнисто-гематитовой и, в меньшей мере, сидеритовой формации. Первая формация представлена месторождениями, расположенными в трех крупных зонах вдоль бортов Тунгусской синеклизы: Ангаро-Илимской, Катангской, Нижне-Енисейской. Лучше других изучена Ангаро-Илимская зона с четырьмя рудными районами: Ангаро-Илимским, Ангаро-Катским, Средне-Ангарским и Бирюсинским, где прирост

запасов (3,5 млрд. т) возможен в основном за счет доразведки уже известных месторождений. Нижне-Енисейская и Катангская зоны тянутся почти на 1000 км от р. Макус на севере до бассейна р. Подкаменной Тунгуски. Часть выявленных здесь месторождений сходна с Ангаро-Илимскими. Прогнозные запасы — не менее 2 млрд. т, однако постановка крупномасштабных поисковых работ в связи со сложными географо-экономическими условиями здесь пока нерентабельна.

Прогнозные запасы кремнисто-гематитовых руд Криволуцкого бассейна только в Приленской его части оцениваются в 3—4 млрд. т. Специальные тематические исследования по оценке перспектив рекомендуются в низовьях рек Подкаменной Тунгуски и Чуни, в среднем течении р. Котуя. Продолжение поисково-разведочных работ можно рекомендовать в верхнем течении рек Лены и Нижней Тунгуски.

На *Северо-Востоке СССР* — известны небольшие месторождения и рудопроявления на Чукотке, в бассейне р. Колымы и на хр. Черского, по-видимому, не имеющие практического значения. Исключением является группа Джелтинских месторождений в верховьях р. Омолон, представленных пластообразными кварц-магнетитовыми телами в гнейсах архейского возраста. Мощность рудной зоны 120—500 м; протяженность — до 3 км; содержание железа в рудах 31—35%. Для уточнения перспектив района рекомендуется постановка аэромагнитометрических работ м-ба 1:50 000 (1:25 000), а также наземных крупномасштабных исследований по прогнозной оценке выходов архейских образований к северу от бассейна р. Джелты.

В *Приморском крае* многочисленные мелкие месторождения принадлежат к двум формациям: магнетитовой скарновой и железистых кварцитов (Лесозаводская группа). Последние, более значительные по масштабу (рудные тела мощностью до 20 м при протяженности до 3—5 км), представлены рудами низкого качества с содержанием железа 15—35%. Для уточнения перспектив района рекомендуется проведение аэромагнитометрических работ крупного масштаба.

Специфику *Енисейского края* определяют крупные месторождения кремнисто-гематитовых руд Ангаро-Питского бассейна, решение вопроса об освоении которых связано с решением проблемы технологии их обогащения. В метаморфических толщах Енисейского края установлены отдельные рудопроявления железистых кварцитов, поиски которых следует развивать в Ангаро-Канском районе. В бассейне р. Теи определен район развития скарновых магнетитовых месторождений (Енишиминское и Лендахское с прогнозными запасами около 300 млн. т), заслуживающий постановки в нем дальнейших поисковых работ.

В *Западной Сибири* железорудный бассейн с широким распространением осадочных оолитовых лептохлорит-гидрогетитовых руд и зернистых глаукоцит-сидеритовых руд занимает около 50 тыс. км². Прогнозные запасы руд огромны (сотни миллиардов тонн), но освоение месторождений затруднено сложностью горнотехнических условий эксплуатации.

В *Казахстане и Средней Азии* наибольшего внимания заслуживают формации: магнетитовая скарновая, лептохлоритовая и железистых кварцитов.

Увеличение запасов руд магнетитовой скарновой формации возможно главным образом за счет доизучения разведанных или уже разрабатываемых месторождений.

Самым перспективным районом распространения лептохлоритовой формации, по данным В. А. Броневого и др. (1967), является Северное Приаралье (Кашкаратинский бассейн), где в результате крупно-

масштабных геологосъемочных работ на глубинах 50—200 м выявлены оолитовые руды сидерит-хлоритового, гетит-гематит-сидеритового и гетит-гематитового состава с содержанием железа 23—47%. Общая площадь распространения железорудного горизонта — 10—12 тыс. км², прогнозные запасы — до 15 млрд. т, в том числе 3—7 млрд. т относительно богатых руд гетит-гематит-сидеритового состава (Лисаковско-го типа).

Перспективным районом является также Бетпакадала, где выявленные месторождения железистых кварцитов сходны с месторождениями Джесказган-Улутауского района Карсакапайского рудного поля. Особый интерес представляет северо-западная часть Бетпакадалы и Чу-Сарысуйская депрессия, где выявлен ряд магнитных аномалий высокой интенсивности. Здесь имеется реальная возможность увеличить запасы железных (существенно гематитовых) руд до 4—5 млрд. т.

Расширение железорудной базы *европейской части СССР* может идти по следующим главным направлениям.

1. За счет увеличения запасов уже известных месторождений путем дополнительной их разведки или вовлечения в эксплуатацию бедных руд. Такие возможности широко представлены на месторождениях КМА и Криворожского бассейна, в меньшей мере — на Качканарском, Керченском и др.

2. За счет открытия новых месторождений в известных горнопромышленных районах. Наиболее благоприятные районы: Урал, где возможен прирост запасов за счет формаций титаномagnetитовых и скарных magnetитовых руд, а в Тараташском блоке и за счет железистых кварцитов; в прилегающих частях азиатской части СССР это также Западное Зауралье в пределах флангов Валериановской зоны, Карсакапайский район с широким распространением железистых кварцитов; Алтай, где можно рассчитывать на открытие новых месторождений magnetитовой скарновой, титаномagnetитовой, апатит-magnetитовой и кремнисто-гематитовой формаций.

3. За счет вовлечения в эксплуатацию ранее не используемых месторождений путем усовершенствования технологии добычи и обогащения, комплексного использования руд или строительства железных дорог к отдаленным месторождениям. Такими объектами могут быть, например, апатит-перовскит-magnetитовое месторождение Вуори-Ярви, железистые кварциты Гимольского рудного района в КАССР и др.

Вместе с тем в европейской части СССР можно выделить пять районов, в которых целесообразно усиление (или возобновление) работ по поискам и разведке железорудных месторождений: Северное Приазовье, междуречье Днестра и Южного Буга, Приладожье, Северная Карелия и Полярный Урал.

В целом проведенный анализ состояния железорудной базы СССР позволяет заключить, что имеются предпосылки для обеспечения местным сырьем всех действующих комбинатов, включая и проектируемые в восточных областях для более равномерного распределения производительных сил страны.

С. В. Москалева, Э. А. Морозова

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРОМА

В настоящее время на территории СССР известны лишь два хромитоносных рудных узла: 1) Кемпирсайский, заключающий 92,7% запасов хромитовых руд (К. М. Кузнецов, 1970) с преимущественно высокосортными рудами, используемыми металлургической и химической

промышленностью и являющимися предметом экспорта, и 2) Сарановский, заключающий 7,3% запасов, сложенный низкосортными рудами, пригодными для производства огнеупоров и лишь частично для химической промышленности (К. М. Кузнецов, 1970). Поэтому очевидна необходимость оценки и других регионов СССР на возможность обнаружения новых хромитовых месторождений, а также разработки критериев предварительной оценки объема и качества прогнозируемых руд.

В результате работ советских геологов (А. Г. Бетехтин, 1937; А. Г. Бетехтин и др., 1941; П. М. Татаринев, 1940, 1945, 1946; Г. А. Соколов, 1948) была выявлена серия локальных критериев. Многие из них не потеряли своего значения и сейчас, некоторые нуждаются в коренном пересмотре. Региональные критерии прогноза, позволяющие оценить перспективы того или иного региона, до сих пор ни у нас, ни за рубежом не разрабатывались. Поэтому потенциальные ресурсы СССР на хромиты оставались неизвестными. Ниже предлагаются новые критерии не только локального, но и регионального прогноза.

Хромитовое оруденение связано с ультраосновными породами. Однако далеко не все гипербазиты хромитоносны. В связи с этим первой задачей при прогнозировании является установление парагенетической ассоциации, т. е. формации ультраосновных пород, с которой генетически связано хромитовое оруденение.

Существуют два главных типа гипербазитсодержащих формаций — дунит-гарцбургитовая и дунит-диаллагит-габбровая (С. В. Москалева, 1963). Между породами этих формаций обнаруживается серия постепенных переходов, позволяющая выделить «смешанный формационный тип». Кроме того, существует ряд преобразований, видоизменяющих главные формации в новые разновидности. Материнской для промышленного хромитового оруденения является только дунит-гарцбургитовая формация, представленная как в чистом виде, так и в дунит-гарцбургитовой серии смешанного формационного типа (таблица). Во всех остальных формациях хромитовые концентрации не выходят за пределы минерализации и крайне редко достигают размеров единичных рудопроявлений.

Следующей задачей после определения формационной принадлежности гипербазитов является выяснение того реального комплекса пород, с которым генетически связано хромитовое оруденение, т. е. без которого хромитовые руды в массивах дунит-гарцбургитовой формации отсутствуют. Материнскими породами промышленного хромитового оруденения являются не все породы дунит-гарцбургитовой формации, а только максимально насыщенные оливином дуниты (0—5% энстатита) и близкие к ним по составу дунит-гарцбургиты (5—15% энстатита). Породы такого состава благоприятны для возникновения в них массивных и густовкрапленных руд, максимально обогащенных Cr_2O_3 . При этом размер рудных тел прямо пропорционален объему существенно оливиновой породы, вследствие чего с более крупными дунитовыми и дунит-гарцбургитовыми прослоями связано образование и более крупных хромитовых тел. Гарцбургиты с содержанием энстатита 15—30% перспективны на мелкие рассеянные рудные скопления с меньшим, чем в первой группе, содержанием Cr_2O_3 . Гарцбургиты с содержанием энстатита свыше 30% отличаются невысоким содержанием Cr_2O_3 и повышенным MgO . Такие породы неблагоприятны для возникновения в них промышленных рудных концентраций.

Таким образом, в поясах дунит-гарцбургитовой формации наиболее перспективны на хромитовое оруденение массивы, сложенные существенными количествами дунитов и дунит-гарцбургитов. При этом следует учитывать, что частые, но мелкие (до 10 м) прослои дунитов или дунит-гарцбургитов в собственно гарцбургитах неблагоприятны

Характеристика гипербазитсодержащих формаций складчатых областей и их хромитонности

Группа пород	Состав, последовательность образования и преобразования	Металлогенетические особенности			Геологические особенности						
		Ведущая полезная минерализация	Форма и размеры хромитовых рудных тел	Особенности качества хромитовых руд, экономическое значение	Внутреннее строение массивов	Форма тел в плане, их размеры	Характер контактов	Соотношение контактов со структурой региона	Соотношение внутренней структуры массивов с региональным планом	Способ внедрения	Области зарождения
1 2 3 4	Комплекс „А“ Энстатиты Гарцбургиты Дуниты Хромититы	Хромит	Линзовидные залежи мощностью до 150 м, длиной до 2500 м. Поля рассеянной вкрапленности протяженностью тысячи метров	При отсутствии наложенного метаморфизма — высокосортные руды с содержанием Cr ₂ O ₃ до 63%, Cr:Fe > 3	<i>Дунит-гарцбургитовая формация</i>						
1 2 3 4	Сerpентинизация Оталькование Диопсидизация (лерцолиты, диаллагиты) Хлоритизация, габброизация	Асбест Тальк Хромит (реликтовый)	Линзовидные залежи, поля рассеянной вкрапленности	Низкосортные руды с содержанием Cr ₂ O ₃ менее 40%, Cr:Fe < 3	Кругополосчатое согласное переслаивание дунитов, гарцбургитов, прослоев рассеянной хромитовой вкрапленности при секущем залегании рудных линз	Линзовидная, согласная с региональными структурами. Размеры — м ² — тысячи км ²	Всегда тектонический	Преимущественно конкордантное	Преимущественно дисгармоничное	Выступы мантии, диапиры, блоки, протрузии	Верхняя мантия Земли
1 2 3 4 5 6	Комплекс „Б“ Диаллагиты Верлиты а) Дуниты II б) Энстатиты II Амфиболизация — горн-блендиты Габброизация — полевошпатовые гипербазиты, габбро, анортозиты Диориты, плагиограниты	— — Платиноиды, хромит Хромит Титаномагнетит	Рассеянная вкрапленность, тонкие прослои мощностью до 2—3 см, длиной до нескольких десятков метров	Содержание Cr ₂ O ₃ до 40%. Cr:Fe < 3	<i>Дунит-диаллагит-габбровая формация</i>						
4	Комплекс „В“ Нориты	—	Непромышленные проявления	—	1) Концентрически-зональное, иногда — конфокальное; 2) Стратиформные „расслоенные“ массивы	Изометрическая, близкая к округлой, от десятков до сотен километров	В случае присутствия пород только комплекса „Б“ — резкий, тектонический; при „Б“ + „В“, окруженных эффузивами, — постепенный с присутствием габбровых роговиков („кытлымитов“)	Чаше конкордантное	Комплекс „Б“ дисгармоничен. „Б“ + „В“ и „В“ — всегда гармоничны	Комплекс „Б“ — тектонические блоки	„Базальтовый слой“ Земли
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Комплекс „А“ Энстатиты I Гарцбургиты I Дуниты I Хромититы I Сerpентинизация Комплекс „Б“ Диопсидизация (лерцолиты, диаллагиты) Оливинизация (верлиты, дуниты II) Энстатитизация (вебстериты, энстатиты II, бронзититы) Габброизация: полевошпатовые гипербазиты, габбро, анортозиты Гранитизация: диориты, плагиограниты Комплекс „В“ Нориты	Хромит	Пластовые тела мощностью до 150—200 м, протяженностью десятки тысяч метров	При отсутствии фельдшпатизации — высокосортные металлургические руды с содержанием Cr ₂ O ₃ до 63%, Cr:Fe < 3	<i>Промежуточный формационный тип</i>						
5	Комплекс „Б“ Диопсидизация (лерцолиты, диаллагиты) Оливинизация (верлиты, дуниты II) Энстатитизация (вебстериты, энстатиты II, бронзититы)	Хромит (реликтовый) Платиноиды, хромит	Реликты пластовых тел	Низкосортные руды с содержанием Cr ₂ O ₃ ~ 40%, Cr:Fe < 3 Низкосортные руды с содержанием Cr ₂ O ₃ 38—50%, Cr:Fe < 2	Преимущественно стратиформные „расслоенные“ массивы, с последовательной сменой пород от 1 к 9. Группы 5—9 несогласны с группами 1—4; группа 10 — независима от групп 1—9. В отдельных областях — концентрически-зональные „конфокальные“ массивы	Различия: десятки — тысячи квадратных километров	Группы 1—9 — тектонический. При наличии групп 10 и окружении эффузивами — постепенный через габбровые роговики („кытлымиты“)	Конкордантна	Группы 1—9 дисгармоничны региональным структурам; группа 10 всегда гармонична	Тектонические блоки	Граница верхней мантии „базальтового слоя“ Земли
8	Габброизация: полевошпатовые гипербазиты, габбро, анортозиты	Титаномагнетит; группы 3—8 — медно-никелевые руды; группы 4—8 — хромиты	Хромититы — прослойки вкрапленных и массивных руд мощностью 0,1—1,5 м и протяженностью десятки метров	То же							
9	Габброизация: полевошпатовые гипербазиты, габбро, анортозиты	Титаномагнетит; группы 3—8 — медно-никелевые руды; группы 4—8 — хромиты	Хромититы — прослойки вкрапленных и массивных руд мощностью 0,1—1,5 м и протяженностью десятки метров	То же							
10	Габброизация: полевошпатовые гипербазиты, габбро, анортозиты	Титаномагнетит; группы 3—8 — медно-никелевые руды; группы 4—8 — хромиты	Хромититы — прослойки вкрапленных и массивных руд мощностью 0,1—1,5 м и протяженностью десятки метров	То же							

для существования среди них крупных хромитовых залежей (например, кракинский, восточнотагильский и т. п. типы) и являются источниками только мелких шпировидных тел и сгущений рассеянного хромита, требующего значительного механического обогащения. Крупные же залежи максимально концентрированных хромитов формируются в мощных полосах дунитового и дунит-гарцбургитового состава (кемпирсайский тип). Поэтому потенциально наиболее благоприятными для обнаружения крупных залежей хромитовых концентраций являются массивы, содержащие крупные поля дунитов или дунит-гарцбургитов с мелкими прослоями гарцбургитового состава.

Критерии прогнозной оценки территории разделяются на региональные и локальные.

Критерии регионального прогноза предусматривают оценку потенциальной хромитоносности конкретных регионов. В этом случае после констатации в регионе ультраосновных пород первой задачей является выяснение их формационной принадлежности. Промышленно хромитоносны гипербазиты дунит-гарцбургитовой формации и, в меньшей мере, смешанного формационного типа (см. таблицу) при условии сохранения в них пород дунит-гарцбургитовой формации (тип Бушвельда, Стиллоутера). Для более точного прогноза необходим учет конкретного состава пород.

Второй задачей является выяснение возможного масштаба проявления в регионе гипербазитов хромитоносной дунит-гарцбургитовой формации на основе анализа структурной позиции гипербазитовых поясов региона. Гипербазиты дунит-гарцбургитовой формации и их эндогенное оруденение — хромит формируются в подкоровом слое Земли, а в условиях земной коры подвергаются дроблению на блоки, метаморфизму и т. д., что обуславливает в итоге их физическое и химическое рассеяние и уничтожение. Стадии таких преобразований находят отражение в структурной позиции гипербазитовых поясов, по которой С. В. Москалевой (1968, 1971) условно выделены три главных типа.

К I типу, с максимальной степенью сохранности руд, относятся пояса дунит-гарцбургитовой формации, расположенные на границе эвгеосинклинали с жесткими структурами рамы, испытывающими устойчивое воздымание на протяжении мегацикла. Пояса этого типа сложены почти непрерывной цепью крупнейших (десятки тысяч квадратных километров) массивов сравнительно слабо измененных гипербазитов, прослеживающихся на колоссальные глубины и, возможно, непосредственно связанных с подкоровым слоем. Наибольшого внимания, как наименее измененные, здесь заслуживают участки, частично вскрытые среди наиболее древних толщ «фундамента» геосинклинали. Эти пояса нечетко фиксируются геофизическими методами, так как характеризуются переменными значениями ΔT и Δg (Кемпирсайский пояс Урала, Камчатско-Индонезийский пояс, Великая Дайка Южной Родезии).

Ко II типу — менее перспективному, но наиболее распространенному, относятся пояса, залегающие полностью внутри геосинклинали на границе синклинориев со срединными массами. Сложены они прерывистыми цепочками более мелких массивов, которые нередко представляют собой блоки интенсивно метаморфизованных гипербазитов (Восточно-Уральские «внешние» пояса, Южно- и Восточно-Тувинские, Дзабханский Монголии и Севано-Амасийский пояс Кавказа). Пояса этого типа фиксируются линейными положительными аномалиями ΔT при большей частью отрицательных Δg .

К III типу, наименее перспективному, относятся пояса, состоящие из коротких цепочек мелких тел, обнаженные внутри одной крупной структуры (синклинория, антиклинория), тяготеющие к участкам горст-антиклиналей («внутренние» пояса Урала, подавляющая часть поясов Кавказа, Казахстана, Средней Азии, Алтае-Саянской области,

Северо-Востока). Фиксируются нечеткими магнитными аномалиями.

Пояса двух первых типов представляют большую практическую ценность. Поэтому при наличии даже единичных или мелких массивов зоны их развития должны тщательно изучаться с целью обнаружения невыявленных хромитоносных масс.

Локальные критерии прогноза заключаются в оценке степени потенциальной и реальной хромитоносности конкретных объектов, расположенных в пределах того или иного пояса, района или массива, и основываются на данных детальной съемки.

К факторам прогноза потенциальной хромитоносности относится оценка степени вероятности присутствия рудных концентраций в данном поясе, массиве, участке и т. д. Первым из них является присутствие пород дунит-гарцбургитовой формации. Наиболее благоприятными для присутствия хромитовых месторождений являются массивы, содержащие значительные тела дунитов (или близких к ним по составу дунит-гарцбургитов) собственно дунит-гарцбургитовой формации. В массивах, сложенных собственно грацбургитами, присутствие промышленных концентраций хромита мало вероятно.

К факторам прогноза реальной хромитоносности массивов или их частей относится оценка реального объема и качества руд, а также размещение рудных тел внутри массивов. Объем рудных тел определяется не только эндогенными условиями, но и интенсивностью последующего дробления, которое способствует измельчению хромитоносных массивов и заключенных в них рудных тел. Поэтому в мелких телах — блоках трудно ожидать сохранения крупных рудных концентраций.

Качество руд также определяется различными причинами. Эндогенные факторы предопределяют потенциальную хромитоносность конкретных массивов, потенциальный объем эндогенного хромитового оруднения и потенциальное качество первичных хромитовых залежей. Однако в ходе последующих метаморфических процессов состав пород и залегающих в них руд подвергаются существенным преобразованиям, которые и определяют современное качество хромитовых руд. Так как изменения пород и руд изофациальны, то по характеру изменений, т. е. по составу пород, можно с большой вероятностью оценить реальный состав ожидаемых руд.

1. Серпентинизация в лизардитовой стадии значительного изменения в составе руды не вызывает. Поэтому в полях лизардитизированных дунитов и дунит-гарцбургитов возможно обнаружение высокохромистых высококачественных руд, используемых металлургической промышленностью (месторождения Донской группы Кемпирсайского массива, Турции, Пакистана; Селюкве Южной Родезии). Серпентинизация хризотиловой и антигоритовой стадий способствует интенсивному выносу из пород и руд Cr_2O_3 , FeO и MgO , обуславливая этим резкое разубоживание и уничтожение хромитовых залежей. Вследствие этого зоны и участки интенсивного асбестообразования или, тем более, антигоритизации первоначально благоприятных пород практически бесперспективны на сохранение в них хромитовых залежей (Восточно-Уральские, Кавказские, Казахстанские и другие пояса).

2. Хлоритизация, обусловленная привнесом Al_2O_3 и выносом изобъемных количеств MgO и Cr_2O_3 , способствует обогащению хромшпинелида глиноземом, изоморфно замещающим Cr_2O_3 , что влечет за собой не только понижение количества Cr_2O_3 , но и понижение роли Cr_2O_3 в соотношении $\text{Cr} : \text{Fe}$, ухудшая этим качество руды (Сарановское месторождение Урала, месторождения Финляндии, Ньюфаундленда и др.).

3. Диопсидизация рудосодержащих дунитов и дунит-гарцбургитов обусловлена выносом из пород и руд Cr_2O_3 , MgO , FeO с заменой их CaO , Al_2O_3 , что значительно снижает качество хромитовых руд (на-

пример, группа месторождений Батамшинского рудного поля и др.). В тех случаях, когда диопсидизации подвергаются гарцбургиты, возникают лерцолиты. Так как собственно гарцбургиты потенциально безрудны, то поля широкого развития лерцолитов следует считать бесперспективными на хромитовое оруденение (например, Нуралинский массив Урала, лерцолиты Сихотэ-Алиня, Средиземноморья и т. д.).

4. Габброизация в начальных стадиях способствует обогащению всех минералов дунит-гарцбургита глиноземом с выносом изобъемных количеств MgO , FeO , Cr_2O_3 . Это является причиной уменьшения в хромшпинелиде количества Cr_2O_3 с соответствующей заменой его Al_2O_3 и изменением соотношения $Cr:Fe$ и обуславливает переход высокосортовых руд в низкосортные (месторождения Степнинской группы Урала, Кото и Лусон в Индонезии, Бушвельда, Стиллиутера и др.). Интенсивная габброизация приводит к уничтожению хромитовых залежей. Поэтому обширные поля габбровых пород даже в пределах массивов дунит-гарцбургитовой формации на хромитовое оруденение бесперспективны.

Описанные виды метаморфизма одинаково проявлены как в рассеянной рудной вкрапленности, так и в телах сплошных руд. Таким образом, в зависимости от степени дробления, характера и интенсивности наложенных метасоматических преобразований реальная хромитоносность потенциально хромитоносных объектов может оказаться ничтожной. Поэтому при ее прогнозировании необходимы точные данные о составе пород, слагающих массивы или их участки.

Закономерности современного размещения рудных тел в массивах определяются тектоническими факторами. Наиболее ценные сплошные, густо- и средневкрапленные руды залегают не *in situ*, но в зависимости от пострудной тектоники. Намечается, что их размещение контролируется движениями трех типов: 1) ранних, способствующих будинажу рудной массы; 2) более поздних блоковых смещений, сдвигающих разлинзованные руды и вмещающие их боковые породы на 1000 м и более; эти движения обуславливают появление различных рудных полей в пределах одного массива; 3) частных, приводящих к мелким, нередко многоступенчатым смещениям рудных тел, отрывающим их от материнской породы.

Смещения первого типа, как правило, происходят в направлении главного глубинного разлома региона и могут быть рассчитаны при прогнозировании. Движения второго и третьего типов своеобразны для каждого региона и каждого массива и потому выявляются лишь на основе анализа структурных данных по конкретным массивам при их детальной геологической съемке.

Изложенное свидетельствует о том, что при оценке хромитоносности необходимо учитывать комплекс критериев. Так, например, максимально перспективным поясом на территории СССР является Кемпирсайский (Урал) с его западной виргацией — Кракинским. Между тем ожидаемая хромитоносность в его разных частях различна. Наиболее перспективны южноуральские и полярноуральские массивы, сложенные породами собственно дунит-гарцбургитовой формации, подвергшимися относительно слабой геосинклинальной эволюции. Средние части пояса в южной половине сложены интенсивно дислоцированными антигоритовыми серпентинитами, а на Среднем Урале — породами дунит-диаллагит-габбровой, т. е. нехромитоносной формации. Однако южно- и полярноуральские части пояса также неравноценны. Первая сложена породами, наиболее благоприятными для хромитового оруденения — дунит-гарцбургитами и гарцбургит-дунитами, подвергшимися сравнительно слабым дроблению и наложенному метаморфизму. Вторая, также мало нарушенная тектонически, сложена этими же породами, но претерпевшими неоднократную полную серпентинизацию лизар-

дитовой стадии с последующей десерпентинизацией, диопсидизацией и габброизацией. Поэтому следует ожидать, что главное значение здесь будут иметь переотложенные руды, а первичные хромитовые залежи, представляющие главную промышленную ценность, будут присутствовать в подчиненном количестве. В то же время широкое развитие в ряде полярноуральских массивов процессов диопсидизации и габброизации заставляет предполагать, что их хромитовые руды будут иметь качество более низкое, чем руды месторождений Южного Урала.

На основе разработанных нами критериев к максимально хромитоносным поясам (I категория) отнесены Кемпирсайский пояс Урала с его западной виргацией — Кракинским поясом, а также Восточно-Камчатский пояс. Здесь следует ожидать обнаружения новых значительных проявлений хромитовых руд. Ко II категории, т. е. менее перспективной, отнесены Восточно-Уральские «внешние» пояса, Южно-Восточно-Тувинские, Дзабханский и Толбонурский пояса Монголии, Севано-Амасийский пояс Кавказа. В остальных гипербазитовых поясах СССР присутствие хромитовых концентраций, удовлетворяющих требованиям современной промышленности, мало вероятно.

Закономерности размещения поясов различной хромитоносности позволяют перейти к оценке регионов.

1. Урал продолжает оставаться наиболее перспективным регионом на дальнейшее обнаружение промышленного хромитового оруденения. Здесь сосредоточены все наиболее перспективные пояса и участки:

а) Район Кемпирсайских месторождений. Здесь есть все основания ожидать значительный прирост запасов за счет невыявленных тел в районе разведанных месторождений, а также на большом протяжении к югу от собственно Кемпирсайского массива, на участке Кемпирсайский — Даульско-Кокпектинский массивы.

б) Сарановский массив. Необходимо выяснение перспектив хромитоносности его южной погружающейся части, а также ее продолжения в зоне гравитационных максимумов.

в) Район массивов Рай-Из и Войкар-Сыньинский на Полярном Урале. Судя по предварительным данным, здесь (особенно во втором) могут быть обнаружены более мелкие, чем на Южном Урале, хромитовые тела, а качество руд окажется более низким, чем в рудах Донской группы.

г) Восточно-Уральские пояса. Здесь возможно обнаружение серий не крупных месторождений преимущественно неметаллургического типа руд. Однако широкое распространение таких месторождений в целом создает значительный прогнозный запас.

2. Казахстан и Средняя Азия представляют собой области развития поясов III категории, т. е. наименее перспективных на хромитоносность. В их пределах значительное увеличение запасов хромитовых руд мало вероятно.

3. Алтае-Саянская область характеризуется широким развитием мелких рудопроявлений непромышленных, хотя нередко и высококачественных руд. Главный интерес представляют пояса Южно-Тувинский, Дзабханский и южная часть Толбонурского, которые нами отнесены ко II категории хромитоносности. В их пределах целесообразно поставить детальные геологические и поисковые работы.

4. Кавказ. По данным Э. А. Морозовой (1971), подавляющая часть гипербазитовых поясов этого региона относится к III категории хромитоносности, и присутствие промышленного оруденения в их пределах мало вероятно. Исключение составляет Севано-Амасийский пояс, пока недостаточно изученный и по своим потенциальным возможностям относимый ко II категории.

5. Северо-Восток с точки зрения выяснения перспектив хромитоносности изучен совершенно недостаточно. Несмотря на это анализ

структурной позиции выявленных гипербазитовых тел позволяет наметить в его пределах два типа гипербазитовых поясов.

К первому относятся южная часть Западно-Корякского и Восточно-Камчатский (по Н. В. Луцкиной) пояса. По формационной принадлежности, структурной позиции и малой степени измененности эти гипербазиты относятся к I категории хромитоносности. По данным Н. В. Луцкиной, в их пределах первоочередными объектами для поисковых работ являются массивы о. Карагинского и Куюльский массив в Таловских горах, Хатырский район Корякского нагорья, бассейны рек Тамватвеем и Науччирынай в Корякском нагорье и хр. Кумрач на Восточной Камчатке. Пояса второго типа этого региона лежат внутри выступов древних толщ, относятся к III категории хромитоносности и в настоящее время практического интереса не представляют.

Таким образом, на территории СССР потенциально наиболее перспективными на хромитоносность являются Урал, южное обрамление Алтае-Саянской складчатой области, Западно-Корякский и Восточно-Камчатский пояса. Главную ценность представляют Кемпирсайский и Кракинский пояса Урала, содержащие самые крупные хромитоносные массивы, а по географическому положению наиболее доступные для эксплуатации. Возможности поясов Северо-Востока, хотя и относимых теоретически к I категории хромитоносности, ввиду их крайне слабой изученности и труднодоступности, значительно более ограничены. Это же относится и к поясам южного обрамления Алтае-Саянской области.

ЦВЕТНЫЕ И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

Б. М. Михайлов, В. А. Броневой, М. П. Орлова

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЛИНОЗЕМНОГО СЫРЬЯ

Согласно директивам по 9-му пятилетнему плану, в Советском Союзе производство алюминия за пятилетие должно возрасти на 50—60%, а по темпам прироста превзойти выплавку любого другого цветного металла.

Основной рудой для получения глинозема до сих пор во всех странах мира являются бокситы. В Советском Союзе используются также нефелиновые сиениты, алуниты; рассматриваются вопросы применения каолинов, низкомодульных бокситов, аддитов, давсонитов, анортозитов, золы углей. В Польской Народной Республике и США разработан и внедрен в производство способ получения глинозема из каолинов.

подавляющее большинство бокситов СССР по качеству значительно хуже используемых на иностранных заводах (таблица).

Наша глиноземная промышленность базируется главным образом на старых рудных районах, выявленных либо до революции (Тихвинский район), либо открытых в 30-е гг. (Северо-Уральский, Южно-Уральский, Аркалыкский), а также на нефелиновых концентратах апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова и уртитов Кия-Шалтыра (Кузнецкий Алатау). Перспективной базой являются Северо-Онежский, Воронежский, Западно-Тургайский и Тиманский рудные районы, освоение которых либо начинается (месторождения Северной Онеги, Западного Тургая), либо планируется (месторождения района КМА, Тимана).

Содержание породообразующих компонентов в бокситах основных бокситорудных районов мира

Рудные районы и провинции	Содержание, %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Кремниевый модуль
СССР				
Северо-Уральский	4,0—5,5	50—55	10—20	10—13
Северо-Онежский	15—18	50—55	4—10	2,5—3,5
Тихвинский	10—15	44—46	15—25	3,0—3,5
Тургайский	10—13	44—47	7—15	3,5—4,0
Южно-Тиманский	20—27	48—54	3—5	2,4—2,7
Средне-Тиманский	4—8	45—52	20—30	7—12
Аркалыкский	10—12	45—48	10—15	4,0—4,5
Гвинея	0,5—2	44—60	—	>20
Австралия	3—5	50—58	—	10—20
Гайана	1—2	55—58	—	>30
Венгрия	4—5	50—55	—	>10
Югославия	2,5—6	48—55	—	>10
Греция	2,5—5	50—55	—	>10

Несмотря на значительные объемы поисковых работ, до сих пор не удалось выявить промышленных месторождений бокситов либо высококачественных нефелиновых сиенитов в Средней Азии, Алтае-Саянской области, на Дальнем Востоке и в Сибири, где сосредоточены наши основные энергетические ресурсы.

Острая потребность отечественной глиноземной промышленности в качественном сырье определяет необходимость интенсификации поисковых работ на все виды глиноземного сырья: бокситы, нефелиновые сиениты, алуниты, давсониты, каолины и др. Наиболее остро стоит вопрос о поисках высококачественных байеровских и электрокорундовых бокситов. Байеровские бокситы должны удовлетворять следующим основным требованиям: кремниевый модуль выше 6-7, содержание Al₂O₃, растворимого в щелочах, выше 35—40%, содержание CO₂ не выше 1,5% и серы не выше 0,5%; электрокорундовые бокситы: кремниевый модуль выше 6, Al₂O₃: CaO выше 180—250, содержание Al₂O₃ 43—50%, S < 0,3% и P₂O₅ < 0,5%.

Бокситы

Трудности с выявлением бокситовых месторождений в Советском Союзе объясняются тем, что процессы накопления бокситов и образования крупных месторождений их наиболее интенсивно протекали лишь на последних этапах эволюционного развития Земли и бокситы концентрировались исключительно в областях переменного влажного климата в тропической зоне. Именно здесь в формациях латеритных почвокровов кайнозоя сосредоточено более 80% мировых запасов качественного сырья (Гвинея, Гайана и др.). Высокое качество и большие запасы латеритных бокситов в современных гумидных тропических областях Земли, казалось бы, предопределяют нахождение аналогичных руд и на территории СССР. Однако проведенные за последние 2—3 года поисковые работы в разных районах СССР не увенчались успехом. С нашей точки зрения, этот итог закономерен (Бронева, Михайлов, 1971, 1972), так как, во-первых, вероятность сохранения качества латеритов при переходе их в погребенное состояние слишком мала, во-вторых, территория СССР вышла из зоны тропического климата, по крайней мере, еще в позднем палеогене.

Промышленные запасы бокситов нашей страны определяются месторождениями другого возраста и другой формационной принадлежности.

Время образования бокситов в СССР охватывает поздний протерозой, палеозой, мезозой и начало палеогена. При этом все месторождения бокситов и подавляющее большинство рудопроявлений приурочено исключительно к отложениям нескольких крупных временных интервалов — эпох бокситонакопления: позднепротерозойско-раннекембрийской, девонской, каменноугольной, триас-юрской и мел-палеоценовой. В пределах этих эпох выделяются этапы, проявившиеся на более ограниченных площадях. Наиболее перспективны для поисков крупных промышленных месторождений бокситов отложения девонской и мел-палеоценовой бокситоносных эпох, а также раннекаменноугольного этапа.

На территории СССР бокситовые месторождения известны в карбонатных, терригенных, латеритных и вулканогенно-терригенных бокситоносных формациях. Каждая из этих формаций характеризуется специфическим строением, закономерностями размещения, временными интервалами максимального развития и преобладающим составом руд, что необходимо учитывать при прогнозной оценке территории при проведении геологосъемочных работ любых масштабов.

Общими признаками *карбонатных бокситоносных формаций* являются: 1) абсолютное преобладание в разрезе карбонатных пород (известняков, доломитов); 2) наличие перерывов в осадконакоплении, к которым приурочены бокситовые залежи; 3) приуроченность к геосинклинальным областям или активизированным зонам платформ. Особенности внутреннего строения карбонатных бокситоносных формаций определяются различиями ряда рудоконтролирующих параметров: строением и составом дорудного рельефа, структурным положением.

Месторождения бокситов лучшего качества и больших размеров приурочены к тем частям формаций, которые сложены наиболее «чистыми» известняками и доломитами. Появление в известняках и доломитах вулканогенных, терригенных пород либо примеси вулканогенного и терригенного материала является неблагоприятным фактором. Месторождения в этих частях карбонатных формаций обычно малы и содержат бокситы низкого качества.

Карбонатные бокситоносные формации СССР известны с позднего протерозоя. Наиболее продуктивны они в разрезах девонской системы, где с ними связаны крупные месторождения бокситов на восточных склонах Северного Урала (СУБР), на западных склонах Южного Урала (ЮУБР), а также мелкие месторождения метаморфизованных бокситов на Салаире. Кроме того, бокситы карбонатных формаций известны в Саянах (PR₃ — Боксон и др.), на Южном Тянь-Шане (C₂), в Карпатах и Крыму (J₂₋₃).

Перспективы нахождения бокситов в карбонатных формациях на территории СССР ограничены. Перспективные площади расположены главным образом вдоль восточного и западного склонов Урала, где широко распространены карбонатные формации девона. Значительный интерес представляют карбонатные формации верхнего протерозоя — нижнего кембрия в Алтае-Саянской провинции, а также на древних массивах Дальнего Востока: Хинганском, Колымском, Ханкайском и в Сетте-Дабане.

Терригенные бокситоносные формации. Общими характерными особенностями строения терригенных бокситоносных формаций как пестроцветных, так и углистых являются:

1) приуроченность к базальным горизонтам трансгрессивных циклов на платформах либо в областях поздней активизации;

2) абсолютное преобладание в разрезе терригенных существенно глинистых отложений;

3) фациальная изменчивость формаций, представленная частым чередованием пород различного состава, присутствие мелких внутри-

формационных размылов, тонких прослоев конгломератов, алевролитов, углистых глин и углей;

4) малые мощности формаций (первые десятки метров) при значительном площадном распространении.

Терригенные бокситоносные формации в геологическом разрезе наблюдаются с раннего карбона. В каменноугольную эпоху бокситонакопление проходило преимущественно по окраинам щитов древних платформ либо в обрамлении крупных внутриплатформенных поднятий. Они характеризуются широким развитием пластовых залежей низкокачественных бокситов. Этот тип бокситоносных формаций обладает высокой продуктивностью; с ним связаны крупнейшие месторождения европейской части СССР, сосредоточенные в Тихвинско-Онежской и Тиманской бокситоносных провинциях. Основные перспективные площади располагаются в обрамлении Тиманского кряжа и на восточном склоне Балтийского щита.

Для мел-палеоценовой эпохи бокситонакопления более характерны терригенные бокситоносные формации с карстовым морфогенетическим типом рудных залежей. Они приурочены главным образом к окраинам плит молодых платформ и лишь частично заходят на их обрамления, залегая в основании платформенного чехла на размытой поверхности интенсивно дислоцированного фундамента. С этим типом бокситоносных формаций связаны крупные месторождения бокситов Тургайской и Центрально-Казахстанской провинций (Красный Октябрь, Аркалыкское и др.). Перспективы поисков подобных месторождений достаточно велики и связаны с меловыми отложениями северо-западных, центральных и восточных районов Тургайского прогиба, обрамления Тенизской и Чу-Сарысуйской депрессий Центрального Казахстана, юга Сибирской платформы.

Латеритные бокситоносные формации максимально продуктивны за пределами Советского Союза, в современной тропической зоне Земли. Однако за последние десятилетия бокситоносные коры выветривания установлены в Воронежской, Украинской, Тургайской, Енисейской и других бокситоносных провинциях. Их появление в геологическом разрезе относится к раннему карбону. По запасам и качеству руд к промышленным объектам могут быть отнесены лишь латериты Воронежской бокситоносной провинции, заключающие рудные залежи линейного типа.

Бокситы латеритных формаций залегают на возвышенных участках рельефа и в последующем обычно подвергаются размыву, в связи с чем в геологическом разрезе они захороняются в исключительных случаях, как-то: при внезапном погружении тектонических блоков, при перекрытии рудных тел лавами и др. Поэтому перспективы их поисков на территории СССР невелики. Некоторые перспективы имеют только окраины траппового плато Сибири и, возможно, отдельные районы Алтае-Саянской и Центрально-Казахстанской провинций.

Вулканогенно-терригенные бокситоносные формации. Возможность образования бокситовых месторождений в процессе вулканической и гидротермальной деятельности до сих пор остается дискуссионной. В то же время опосредованное влияние вулканизма на процессы бокситообразования определенно устанавливается во многих случаях. Это влияние обуславливается, с одной стороны, привнесом в области бокситообразования большого количества неустойчивого в зоне гипергенеза и легко выветривающегося вулканогенного материала, с другой стороны — повышением агрессивности грунтовых вод, в составе которых наряду с дождевыми появляются и гидротермальные с характерными для них низкими рН.

В составе вулканогенно-терригенных бокситоносных формаций существенную роль играет эксплозивный пирокластический высокоглино-

земистый материал, пульсационно привносившийся в области развития благоприятных климатических обстановок.

Бокситовые месторождения локализуются преимущественно в тех частях формаций, где пирокластический материал или термальные воды попадали на карбонатную закарстованную поверхность. Примером такой формации является комплекс бокситоносных отложений верхнего девона Среднего Тимана.

Перспективы поисков подобных формаций для территории СССР пока не определены, поскольку сама постановка вопроса о возможности обнаружения бокситов в областях вулканической деятельности еще нова и не подтверждена сколько-нибудь значительным фактическим материалом. С целью уточнения этих предположений может быть рекомендована постановка исследований в областях залегания вулканогенных (существенно эксплозивных) образований эпох бокситонакопления на карбонатные породы. Это, в частности, юго-запад Казахстанского щита, где эффузивные толщи среднего девона местами залегают на существенно карбонатных отложениях ордовика, участки налегания раннекаменноугольных эффузивов на карбонатные отложения девона на Южном Урале и др.

Нефелиновые руды

Нефелинсодержащие руды: уртиты, нефелиновые сиениты и их разновидности на территории СССР распространены весьма широко. Они встречаются в ассоциациях со щелочными сиенитами, гранитами, а также со щелочными габбро и ультрабазитами. За последние годы в ВАМИ на основе обобщения данных по составу и условиям залегания нефелиновых пород СССР С. Я. Данциг разработана промышленная классификация руд для производства глинозема, щелочей и цемента.

Выделяется три технологических типа руд: 1) нефелиновые бесполевошпатовые руды (уртиты), содержащие 60—90% нефелина при $Al_2O_3 > 27,0\%$; 2) нефелин-плаггиоклазовые руды (щелочные габброиды), содержащие 10—50% нефелина при $Al_2O_3 = 22—25\%$ и $Fe_2O_3 = 7—10\%$; 3) нефелин-полевошпатовые руды (нефелиновые сиениты), содержащие 10—30% нефелина при $Al_2O_3 = 18—24\%$.

Перечисленные технологические типы руд, будучи составной частью петрографических щелочных серий, относятся к различным магматическим формациям.

Уртиты являются обязательной составной частью платформенных магматических формаций: 1) агаитовых нефелиновых сиенитов (Хибинь, Ловозеро и др.); 2) ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Ковдор, Салма в Карело-Кольском регионе; Енисейская интрузия в Красноярском крае и др.). Кроме того, уртиты встречаются в массивах формации щелочных и нефелиновых сиенитов, граносиенитов и щелочных габброидов (Кия-Шалтырский массив в Кузнецком Алатау, горячегорский комплекс на севере Восточного Саяна) в складчатых областях постконсолидационной стадии.

Нефелин-плаггиоклазовые породы развиты в массивах формаций складчатых областей, где ассоциируют либо со щелочными габброидами, либо с нефелиновыми и щелочными сиенитами (Горячегорский массив).

Нефелин-полевошпатовые породы известны как в платформенных, так и в геосинклинальных магматических формациях постконсолидационных и поздних стадий формирования геосинклиналей.

Наибольший практический интерес в настоящее время представляют массивы так называемой главной формации щелочных пород складчатых областей нефелиновых, псевдолейцитовых и щелочных

сиенитов и граносиенитов (Памбакский массив Армении, Ишимский — в Западном Казахстане, Кийский — в Кузнецком Алатау и др.). В этой формации наряду с нефелин-полевошпатовыми породами часто встречаются кальсилит-полевошпатовые (псевдолейцитолититы и псевдолейцитовые) сиениты (например, Сыннырский массив в Северном Прибайкалье). Эти разновидности нефелиновых пород могут представлять собою новый вид комплексного сырья для производства глинозема, поташа и цемента.

Перспективы обнаружения новых массивов нефелиновых пород, пригодных для использования в глиноземной промышленности, связаны преимущественно с главной формацией щелочных пород складчатых областей (нефелиновых и щелочных сиенитов).

В настоящее время среди образований этой формации известно большое количество массивов нефелин- и кальсилит-полевошпатовых пород. Главная задача состоит в оценке их практической значимости, что в значительной степени должно определяться в процессе крупномасштабных геологопоисковых работ и экономической оценке производительных сил регионов. В частности, определенные перспективы имеют Северо-Прибайкальская провинция щелочных пород, расположенная вблизи Братской гидростанции, поиски массивов нефелинсодержащих пород в бассейне р. Зeya вблизи строящейся гидроэлектростанции.

Алунитовые руды

Алунитовые руды, как и нефелиновые, являются комплексным сырьем. Помимо глинозема из них получают сульфат калия и серную кислоту. Кроме алунита (от 30—35 до 50—55%) в промышленных месторождениях обычно присутствуют кварц, халцедон, опал (в сумме до 40—55%), глинистые минералы (главным образом каолинит) и акцессории (окислы железа, ильменит, циркон и др.).

Алунитовые породы обычно представляют собою продукты гидротермальной переработки кислых эффузивов, сопровождающейся образованием полей вторичных кварцитов. В строении алунитовых месторождений выделяются (сверху вниз): 1) кварцевые породы (вторичные кварциты); 2) алунизированные породы; 3) каолинизированные породы; 4) кислые эффузивы и их туфы. Часто на глубине под алунизированными породами обнаруживается зона сульфидной минерализации, явившаяся источником сернистых растворов. Алунитовые руды обычно образуют либо пластообразные (Загликское месторождение в Закавказье), либо (чаще) штокверковые тела (рудопроявления Карпат, Средней Азии и др.). При этом промышленные месторождения должны содержать не менее 50—70 млн. т руды.

Поскольку алунитовые породы являются приповерхностными образованиями, легко подвергающимся разрушению, то промышленные месторождения их можно ожидать главным образом в областях молодой складчатости (альпиды, мезозойды). Некоторый интерес могут представлять районы более древней складчатости, активизировавшиеся в позднем палеозое — раннем мезозое (например, Казахстанский щит).

Месторождения и рудопроявления алунитовых пород известны в Закавказье, Закарпатье, Средней Азии, в Центральном Казахстане и на востоке СССР.

Наиболее перспективны на поиски новых месторождений алунитовых пород районы молодой кайнозойской и мезозойской складчатости Сихотэ-Алинского и Охотско-Чукотского вулканогенных поясов на Дальнем Востоке. Здесь широко распространены вулканогенные, часто окварцованные породы кислого состава (липариты, их туфы и др.). Отдельные рудопроявления алунитов известны на площади в сотни тысяч квадратных километров. В районе Николаевска-на-Амуре на

севере Сихотэ-Алиня разведано пока единственное на Дальнем Востоке месторождение алунитов.

В заключение следует особо подчеркнуть, что для таких крупных регионов, как Дальний Восток и Средняя Азия, алунитовые породы наряду с нефелиновыми сиенитами могут оказаться наиболее перспективным сырьем для получения глинозема в ближайшие 20—30 лет.

Другие виды алюминиевого сырья

Каолины являются наиболее богатым по содержанию глинозема алюминиевым сырьем. Количество Al_2O_3 в отдельных месторождениях достигает 30—40%. Крупные месторождения каолинов часто ассоциируются с бокситами и входят в состав терригенных бокситоносных формаций. Наиболее богаты каолинами Тиманская и Тургайская бокситоносные провинции. Огромные запасы каолинов, исчисляемые многими сотнями миллионов тонн, имеются в ряде угленосных бассейнов СССР каменноугольного и юрского возраста, а также в корях выветривания юрского, мелового и палеогенового возраста Украины, Восточного Урала, Амуро-Зейской и других депрессий Дальнего Востока. Проблема использования каолинов в глиноземной и алюминиевой промышленности упирается в отсутствие достаточно эффективных технологических схем их переработки.

Давсонитовые руды. Минерал давсонит — $NaAl(CO_3)(OH)_2$ в Советском Союзе обнаружен в Закарпатье, Кузбассе и Белоруссии (Волкова, Рекшинская, 1972; Бирин, 1973). Везде он имеет лишь минералогическое значение и рассматривается как эпигенетическое либо гидротермальное образование. В то же время в США в штате Колорадо в толще нефтеносных аргиллитов с прослоями пеплов мощностью более 100 м давсонит составляет около 12,3%, что ставит вопрос о возможности его использования как руды для получения глинозема (Smith, Milton, 1966). В СССР подобных образований пока не известно, и критерии их поисков не ясны.

И. Г. Павлова, Э. И. Кутырев, И. В. Ляхницкая, Е. В. Туганова

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ

Медная промышленность СССР базируется на разработке месторождений следующих главных типов: медистых песчаников, сульфидных медно-никелевых, медно-порфирировых, медно- и полиметаллически-колчеданных руд, на долю которых в общей сложности приходится более 95% запасов и добычи меди.

Возрастающая потребность промышленности в медных рудах, необходимость расширения сырьевой базы действующих предприятий, рост новых экономических районов — все это выдвигает задачу дать прогнозную оценку территории Советского Союза на медь. Такая оценка проведена на основе формационного анализа — определения пространственных, временных и генетических связей рудоносных геологических и рудных формаций. В итоге ее намечены перспективные для поисков медных месторождений площади на территории СССР.

Для целей прогнозирования составлена классификация рудных формаций, приведенная в табл. 1. Четыре рудных формации — I, III, V, VII — выделены как главные и наиболее перспективные. Эти формации объединяют восемь промышленных типов медных месторождений (субформаций). Остальные формационные типы имеют в настоящее время в балансе запасов и в добыче меди подчиненное значение.

Главные медные и медьсодержащие рудные формации

1*. Формация сульфидных Cu—Ni руд (~29%) 1**. Cu—Ni габбро-перидотитовая (верлитовая) (печенгский тип) 2**. Cu—Ni перидотит-пироксенит-норитовая (мончегорский тип) 3**. Ni—Cu оливинит-габбровая (норильский тип) 4. Ni—Cu троктолит-долеритовая (курейский тип)	III*. Формация Cu и Mo—Cu порфировых руд (~16%) 6**. Mo—Cu порфировая серицит-кварц-аргиллизит-калишпатовая (кальмакырский тип) 7**. Mo—Cu порфировая аргиллизит-вторично-кварцитовая (коунрадский тип) 8. Cu-порфировая пропилитовая (бошекульский тип)	V*. Формация Cu—Pb—Zn колчеданных руд (~19%) 10**. Cu и Zn—Cu колчеданная в спилит-кератофир-туфосланцевых породах (уральский тип) 11**. Cu—Zn—Pb колчеданная в дацит-липарит-туфосланцевых породах (алтайский тип) VI. 12. Формация Cu-цеолитовая в базальт-липарит-терригенных породах (тип Верхнего озера)	VII*. 13. Формация медистых песчаников (джезказганский тип) (~33%) VIII. 14. Формация медистых сланцев и мергелей (мансфельдский, усленский тип) IX. 15. Формация медистых карбонатных пород (вятский тип)
II. 5 Формация Cu—Ti магнетитовых руд в габбро (волковский тип)	IV. 9. Формация (Mo) — Cu — Fe скарновых руд (саякский тип)		

X. 16. Неясной формационной принадлежности

Интрузивные и вулканогенно-интрузивные	Вулканогенно-интрузивные	Вулканогенно-осадочные	Осадочные
--	--------------------------	------------------------	-----------

Рудоносные формации

* Главные формации медных руд; ** промышленные типы; % — доля соответствующей формации в общих запасах меди.

В небольших количествах медь содержится в месторождениях второстепенных для меди формаций, из которых она может извлекаться попутно с другими элементами: сульфидно-касситеритовой (Солнечное и др.), золото-медно-полиметаллической (Забайкалье), медно-висмутовой (Кураминский хр.) и пр.

Характеристика главных промышленных формаций медных руд, закономерности их размещения и факторы контроля, на которых основываются критерии прогнозирования, сведены в табл. 2, 3, 4, 5. Следует указать, что в таблицы включены лишь промышленные типы месторождений, на примере которых разрабатывались критерии прогнозирования. Поясним последовательность использования для целей прогноза закономерностей и факторов контроля, суммированных в таблицах, на примере медно-порфировых месторождений (табл. 3).

Наиболее общей закономерностью для этих месторождений является приуроченность их к наложенным региональным структурам — интрузивно-вулканогенным поясам (Прибалхашско-Илийский в Центральном Казахстане, Кураминский — в Средней Азии и др.). В пределах поясов прогнозно-металлогенические зоны выделяются как зоны

со структурно неоднородным фундаментом, имеющим мозаичное блоковое строение. Типовая структурная позиция зон с медно-порфировой минерализацией определяется приуроченностью их к геоантиклинальным поднятиям, краевым частям срединных массивов на границе с эвгеосинклинальными зонами или к бортовым частям эвгеосинклинальных трогов, ограниченных блоками ранней консолидации. В намеченных зонах прогнозируемые рудные районы соответствуют блокам с эвгеосинклинальным типом разреза вулканогенно-осадочных толщ или блокам ранней консолидации, сложенным амфиболитами, амфиболовыми гнейсами, полевошпат-биотитовыми сланцами, диабазами и т. п. В выделенных таким образом рудных районах перспективные площади совпадают с участками редуцированного развития орогенного вулканизма и широко проявленного интрузивного магматизма, представленного габбро-диорит-гранодиоритовой, габбро-сиенит-диоритовой формациями (Ю. П. Рождественский, 1972).

Среди гранитоидов указанных формаций наиболее перспективны для открытия месторождений площади выходов малых интрузий и пояса даек определенного состава: гранодиорит-порфиров, кварцевых монзонит-порфиров, гранит-порфиров и др. Оруденение локализуется в зонах эндо- и экзоконтактов малых тел, особенно перспективных в тектонически ослабленных нарушенных участках: в местах сочленения эндо- и экзоконтактовых зон с разломами второго — третьего порядков или в участках пересечения и сопряжения разломов.

Важным признаком, благоприятным для оруденения, является широкое развитие гидротермально измененных пород: региональных зон пропилитовых и калишпатовых изменений, а также локально проявленных аргиллизитов, серицит-кварцевых и кварцевых метасоматитов. В пределах зон измененных пород при отсутствии прямых признаков минерализации поиски можно проводить по эндогенным ореолам рассеяния Cu , Mo , Pb , Zn , Au . Во многих районах на поверхности отчетливо проявляются зоны окисления с вторичными минералами меди и железа.

В случае непосредственного обнаружения минерализации предварительная прогнозная оценка может быть дана на основании установленных для этих месторождений средних параметров рудных тел, особенностей их зонального строения и других признаков.

Для медно-никелевых месторождений в аналогичной последовательности можно использовать данные табл. 2. Установлено, что рудоносные интрузии и связанные с ними $Cu-Ni$ месторождения приурочены к участкам наиболее интенсивных прогибаний, располагающимся на платформах над сочленением разновозрастных блоков фундамента, на шитах — в зонах стыка блоков с различной мощностью земной коры. Наблюдается четкая приуроченность рудоносных магматических формаций к зонам глубинных разломов, проникающим до подкоровых глубин. Месторождения расположены, как правило, в участках пересечения региональных глубинных и более мелких разломов, а также контролируются оперяющими их либо сопряженными с ними второстепенными разрывами. Именно участки пересечения разломов разных типов представляются перспективными для локализации месторождений.

Важное значение для размещения месторождений этой формации имеют литолого-стратиграфические факторы контроля: расположение рудоносных интрузий на определенных стратиграфических уровнях — на границе разнородных формаций, под экраном плотных пород (например, мощных толщ эффузивов).

При разбравке потенциально рудоносных интрузивов по степени их перспективности рекомендуется использовать геохимические критерии прогнозирования, основанные на определении концентраций и зна-

Месторождения формации сульфидных Cu—Ni руд.

Характеристика формации, закономерности размещения, факторы контроля оруденения, определяющие критерии прогнозирования

Рудная формация	Сульфидная Cu—Ni перидотит-пироксенит-норитовая (мончегорский тип)	Сульфидная Cu—Ni габбро-перидотитовая (верлитовая) (печенгский тип)	Сульфидная Ni—Cu оливинит-габбровая (норильский тип)		
↑ Для мелкомасштабных исследований	Геотектоническая позиция	Складчатые пояса, зоны сочленения блоков с различной мощностью земной коры	Чехол древних платформ, участки наиболее интенсивных прогибаний, располагающиеся над местами сочленения разновозрастных блоков фундамента		
	Региональные разрывные нарушения	Четкая приуроченность месторождений к зонам глубинных разломов, к участкам их пересечения, к более мелким локальным разломам и второстепенным оперяющим их разрывам			
		Межформационные поверхности	Внутриформационные зоны в „наложенных“ геосинклинальных прогибах	Межформационные поверхности	
	Рудоносные магматические формации	Перидотит - пироксенит - норитовая	Габбро-перидотитовая (верлитовая)	Оливинит-габбровая	
	Форма тел	Крупные расслоенные интрузивы	Мелкие расслоенные интрузивы	Крупные отчетливо расслоенные интрузивы	
	Характерные серии пород	Гарцбургит → (лерцолит) → бронзитит → норит	Габбро → пироксенит (авгитовый) → верлит	Плагиоклазовый оливинит (перидотит) → пикритовый габбро-долерит → оливиновый, безоливиновый, кварцевый габбро-долерит	
Внутренняя структура массивов и зональность	Непрерывная серия пород с постепенными переходами	Прерывистая серия с резкими переходами	Непрерывная серия пород с постепенными переходами		
	Четкая зональность с убывающей основностью пород от подошвы к кровле				
↓ Для крупномасштабных исследований	Породы, непосредственно вмещающие оруденение	Центральные и нижние части расслоенных интрузивов: гарцбургиты, лерцолиты, бронзититы, нориты	Нижние части дифференцированных интрузивов, сложенные верлитами, а также подстилающие филлиты	Нижние горизонты расслоенных интрузивов; плагиоклазовые оливиниты, перидотиты, пикритовые и такситовые габбро, а также подстилающие осадочные и эффузивные породы	
	Рудоконтролирующие структуры	Сдвиговые зоны в нижних контактах массивов; системы крутопадающих трещин в осевых частях массивов	Пологие сдвиговые нарушения в нижних контактах интрузивов с системой оперяющих трещин, пересечение сдвиговых зон с дорудными разломами	Сложная система оперяющих и сопряженных трещин, сопровождающих глубинные разломы, пологие и сдвиговые нарушения в нижних контактах интрузивов, системы круто- и пологопадающих трещин в массивах	
	Состав руд	Элементы: ведущие второстепенные	Ni, Cu, Co, S, Ni:Cu = (2 ÷ 3):1 Pt, Pd, Se, Te, Ag, Au, As, Zn, Pb	Cu, Ni, Co, Pt, Pd, S Cu:Ni = (2 ÷ 3):1 Au, Ag, Se, Te, Zn, Pb, Rh, Ir, Os, Ru, As	
		Минералы: ведущие второстепенные	Пентландит, пирротин, халькопирит, магнетит, ильменит, пирит Сфалерит, галенит, кубанит, троилит, арсениды кобальта и никеля, платиноиды	Пирротин, халькопирит, кубанит, пентландит, магнетит Ильменит, платиноиды, пирит, миллерит, сфалерит, галенит и др.	
	Особенности морфологии и средние параметры рудных тел	Пластовые залежи массивных, брекчиевых, прожилково-вкрапленных руд		Пластообразной формы тела вкрапленных руд мощностью до 80 м, протяженностью до нескольких км, а также залежи сплошных руд, протяженностью несколько км и мощностью десятки метров, линзо-пластообразные и неправильной формы	
		Протяженность до 2 км при мощности до 50 м; жилы массивных руд длиной до 4 км при мощности до 1 м	Протяженность до 1,5 км при мощности от 0,2 до 100 м		
Примеры месторождений	Мончегорск (Кольский п-ов), Седбери (Канада), Бушвелд (Южная Африка)	Печенгские (Кольский п-ов)	Норильского и Курейского районов; Инсизва (Южная Африка)		

Месторождения медно-порфировой формации.

Характеристика формации, закономерности размещения и факторы контроля, определяющие критерии прогнозирования

Рудная формация	Mo—Cu порфировая серицит-кварц-аргиллизит-калишпатовая (кальмакырский тип)	Mo—Cu порфировая аргиллизит-вторично-кварцитовая (тип Кананеа и тип Коунрада)					
Для мелкомасштабных исследований	Геотектоническая позиция	Интрузивно-вулканогенные пояса орогенной стадии развития геосинклинальных систем, реже зоны тектоно-магматической активизации					
	Структурное положение и тип фундамента	Геоантиклинальные поднятия, краевые части срединных массивов на границе с эвгеосинклиналями, бортовые части эвгеосинклинальных трогов на границе с блоками ранней консолидации. Структурно-неоднородный фундамент блокового строения. Благоприятны блоки с эвгеосинклинальным типом разрезов или сложенные метаморфическими породами фемического профиля — амфиболитами, амфибол-биотитовыми гнейсами, диабазами и т. п.					
	Региональные разрывные нарушения	Крупные долгоживущие глубинные разломы, в том числе ограничивающие блоки, контролирующие размещение интрузий, вулканических аппаратов, а также оперяющие их разломы более низких порядков					
	Рудоносные интрузивные и вулканогенные формации	Крупные многофазные плутоны габбро-диорит-гранодиоритовой, габбро-сиенит-диоритовой формаций. Месторождения встречаются в пространственной связи со штоками и дайками гранодиорит-порфиров, кварцевых монзонит-порфиров, реже гранит-порфиров, представляющими поздние дифференциаты гетерогенных гранитоидов	Вулканические породы андезитовой и андезит-дацитовой формаций. Месторождения встречаются в связи со штоками, дайками, экструзивными телами гранодиорит-порфиров, гранит-порфиров, кварцевых порфиров, в том числе представляющими собой апофизы крупных плутонов, жерловые фации и т. п.				
исследований	Непосредственно вмещающие оруденение породы	Преимущественно метасоматические средне-, слабо- и интенсивно измененные, реже неизмененные Монзониты, сиенито-диориты, гранодиориты, гранодиорит-порфиры, а также диабазы, кристаллические сланцы и др.	Породы, слагающие малые тела — гранодиорит-порфиры, кварцевые монзонит-порфиры и др., в меньшей степени вулканические породы экзоконтактных зон — кварцевые порфиры, липариты, андезиты				
	Типы измененных пород (формации, фации) и широта распространения	1. Широкие зоны слабо пропилитизированных, калишпатизированных пород: от 3—5 до 10 км ² и более. 2. Зоны аргиллизированных пород до 1—2 км ² .		1. Широкие зоны слабо пропилитизированных, биотитизированных, серицитизированных пород. 2. Зоны аргиллизированных пород (по малым интрузиям).			
	(от ранних к поздним)	3. Зоны серицит-кварцевых и кварцевых метасоматитов до 1—1,5 км ² 4. Локальные зоны поздних биотит-кварц-калишпатовых метасоматитов		3. Вторичные кварциты, серицит-кварцевые и кварцевые метасоматиты до 1—2 км ²			
	Зональность метасоматических пород (от внешних зон к внутренним)	Пропилитизированные породы: хлорит + эпидот + альбит + карбонат	Аргиллизированные породы и аргиллизиты: монтмориллонит + каолинит + гидромусковит	Серицит-кварцевые метасоматиты: серицит + кварц + пирит + хлорит	Биотит-калишпатовые метасоматиты: калиевый полевой шпат + биотит + кварц	Пропилитизированные породы	Аргиллизиты и аргиллизированные породы Вторичные кварциты
Рудоконтролирующие структуры	Контактные поверхности тел малых интрузий: эндо- и экзоконтакты; поля развития даек; оперяющие системы трещин региональных разломов; участки пересечения и сочленения разломов		В тесной связи с вулканическими структурами: жерлами вулканических аппаратов, трубообразными телами взрывных брекчий, экструзивными образованиями				
Состав руд	Элементы: ведущие второстепенные	Cu, Mo, (Au)		Cu, Mo (Au?) Ag, Re, Se, Te, Bi			
	Минералы: ведущие второстепенные	Халькопирит, молибденит Магнетит, пирит, сфалерит, галенит и др.		Халькопирит, молибденит, халькозин, энаргит Пирит, сфалерит, галенит и др.			
Минералы зоны окисления: малахит, азурит, хризоколл и др.							
Зональность оруденения	Fe ³⁺ —Mo—(Cu+Mo)—Cu—Fe ²⁺ —(Pb+Zn)—(Au) (от центра к периферии, снизу вверх)		Fe ²⁺ —Cu—Mo—(Pb+Zn)—Ag				
Особенности морфологии и средние параметры рудных тел	Штокверковые тела без четких геологических границ, которые определяются по данным опробования; конусо-, воронко- и линзообразная форма рудных тел. Площадь от 0,2—0,3×0,8 км ² до 2×3,5 км ² ; по вертикали до 0,6 км, в среднем ~300 м						
Примеры месторождений	Кальмакыр, Сары-Чеку		Кананеа, Чуквикамата, Коунрад, Карабас				

**Месторождения медно- и полиметаллически-колчеданной формаций.
Характеристика формации, закономерности размещения и факторы контроля оруденения,
определяющие критерии прогнозирования**

Составлена по данным А. Н. Кена, В. И. Васильева (1970), В. А. Прокина (1972), Ю. В. Богданова, Э. И. Кутырева (1972)

Для мелкомасштабных исследований	Рудная формация	Cu и Cu — Zn колчеданная в спилит-кератофир-туфосланцевых породах (уральский тип)	(Cu) — Pb — Zn колчеданная в дацит-липарит-туфосланцевых породах (алтайский тип)
	Геотектоническая позиция	Прогибы эвгеосинклинального типа, выполненные мощными вулканогенно-осадочными толщами, формирующимися в начальные, собственно геосинклинальные этапы развития подвижных поясов. Наиболее перспективны складчатые области и их части с полициклическим развитием (Урал, Кавказ, Рудный Алтай)	
	Региональные разрывные нарушения	Зоны доскладчатых разломов, обычно хорошо проявленные в фундаменте рудоносных толщ и затухающие вверх по разрезу, участки их пересечения	
	Структурное положение и тип фундамента	Стыки геосинклинальных трогов с жесткими глыбами — платформами и срединными массивами, геоклинальными палеоподнятиями Фундамент фемический	Фундамент сиалический, реже фемический
	Рудоносные формации:	Спилит-кератофир-туфосланцевая	Дациит-липарит-туфосланцевая
	эффузивы	Кислые эффузивы подчинены толщам эффузивов основного состава Миндалекаменные диабазы, спилиты, андезитобазальтовые и андезитовые порфиры, андезит-дацитовые и дацитовые порфиры, липарит-дацитовые порфиры и их туфы	Кислые эффузивы преобладают над основными Альбитофиры, альбитизированные дациты, липариты, порфиры, фельзиты, образующие лавовые потоки и покровы, а также их туфы и туфобрекчии
субвулканические интрузии малые интрузии	В основном кислые разности Небольшие тела и дайки габбро, кварцевых диоритов, плагиогранитов	Дайки, некки, силлы, небольшие потоки альбитофиров, гранит-порфиров, дациты, фельзит-порфиры Гранит-порфиры, плагиограниты, плагиогранит-порфиры	
осадочные и вулканогенно-осадочные породы	Кремнистые сланцы, глинисто-кремнистые сланцы, черные „углистые“ сланцы, рифовые известняки	Песчаники, алевролиты, алевропелиты, агломеративные, псаммитовые, пепловые туфы кислого, реже среднего состава	
Непосредственно вмещающие оруденение породы	Туфы андезитов, дацитов, липаритов, черные углистые сланцы, алевролиты, туфы разнообразного состава, реже кремнисто-карбонатные породы	Горизонты, пачки, линзы первоначально пористых пород — туфобрекчий, туфоагломератов, псаммитовых и пепловых туфов, туфопесчаников, песчаников, алевролитов, а также хрупкие трещиноватые породы — силициты, кремнистые алевролиты	
Для крупномасштабных исследований	Метаморфизм	Зоны рудоотложения приурочены к границе пумпеллит-пренитовой и зеленокаменных фаций	
	Типы измененных пород	В разрезах рудовмещающих толщ гидротермально измененные породы фиксируют рудоносный уровень и представлены вторичными кварцитами, пропилитами, серицитолитами, хлоритовыми, кварц-серицит-хлоритовыми, карбонатными и оталькованными породами	
	Рудоконтролирующие структуры	Важное значение имеют как первичные, так и вторичные тектонические структуры разного масштаба и происхождения. Доскладчатые структуры, по возрасту близкие к рудообразованию: системы доскладчатых разломов разных направлений третьего и четвертого порядков, подводные вулканические постройки купольного типа, зоны трещиноватости и брекчирования, иногда конседиментационные складки и флексуры. Наиболее богатые и мощные рудные скопления часто приурочены к ядрам послерудных складок, к флексурам, трещинам разрыва. Для Урала отмечается приуроченность рудных залежей к контактам субвулканических тел кислого состава	
	Состав руд: ведущие	Cu, Zn, Fe	Pb, Zn, Cu, Fe, Ba
	второстепенные элементы и минералы	Халькопирит, сфалерит, пирит, магнетит, пирротин, теннантит, борнит	Халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, барит, пирротин, марказит, мельниквит, гематит, магнетит и др.
	Зональность оруденения	Отчетливо проявлена зональность по нормали к напластованию, снизу вверх по стратиграфическому разрезу вмещающих отложений. Вертикальная зональность соответствует ряду: Fe ²⁺ , Cu ²⁺ (Au) — Zn (Pb, Cu) — Pb (Zn) — Cu ²⁺ , Pb, Ag, Hg — Mn, Fe, Ag, Au	
	Особенности морфологии и средние параметры тел	Стратиформные залежи, согласные с напластованием вмещающих пород — пластообразной, линзовидной, лентообразной и более сложной формы, на многих месторождениях — корневые, секущие рудные жилы. Параметры согласных залежей (м): средняя мощность — единицы, длина — сотни, ширина от нескольких десятков до нескольких сотен. В дислоцированных толщах форма сильно искажена, рудные тела смяты в складки, разбиты разломами на блоки, отличаются большим разнообразием	
Примеры месторождений	Сибай, Блява, Гайское, Учалы и др.	Ленинское, Зыряновское, Белоусовское	

чений парных отношений малых и редких элементов (в породах рудоносных интрузий, их контактовых ореолов и в отдельных минералах), а также на установлении статистических связей между пороодообразующими и малыми элементами.

Закономерности размещения и критерии прогнозирования медно- и полиметаллически-колчеданных месторождений приведены в табл. 4, формации медистых песчаников (джезказганский тип) и медистых сланцев (успенский тип) — в табл. 5. Формация медистых сланцев, имеющая в настоящее время в СССР подчиненное значение, относится к числу наиболее перспективных меднорудных формаций, что и предопределяет необходимость ее развернутой характеристики.

Перечисленные в табл. 4 и 5 меднорудные формации принадлежат к группе стратиформных, доскладчатых, для которых региональные критерии прогнозирования сходны: все они контролируются геосинклинальными трогами, выполненными многокилометровыми вулканогенно-осадочными толщами. В платформенных чехлах, покровных образованиях срединных массивов, в передовых прогибах и межгорных впадинах, развитых на консолидированном фундаменте, стратиформные рудоносные формации редко образуют объекты промышленного значения.

Медно-колчеданные, полиметаллически-колчеданные формации и медистые сланцы в пределах геосинклинальных трогов обычно составляют латеральные ряды, отдельные звенья которых связаны постепенными переходами. Известны также примеры вертикальных рядов месторождений (снизу) от медистых сланцев к медистым песчаникам (Кодаро-Удоканская зона).

В пределах геосинклинальных трогов, соответствующих прогнозно-металлогеническим зонам, перспективные районы (или полосы) намечаются раздельно для формаций медистых песчаников и трех других формационных типов стратиформных месторождений. Для рудных формаций уральского, алтайского и успенского типов перспективные районы выделяются как полосы сочленения геосинклинальных комплексов с консолидированными глыбами — платформами, складчатыми областями, срединными массивами, внутригеосинклинальными палеоподнятиями.

Оценка ожидаемого геохимического типа рудоносных стратиформных формаций этого ряда производится по двум критериям: среднему составу консолидированных глыб или палеоподнятий и составу потенциально рудоносных формаций. Преобладающий «сиалический» разрез глыб и поднятий (флишевые, сланцевые, кремнисто-сланцевые формации, гранитоиды, гранито-гнейсы и кварциты) служит благоприятным признаком для прогнозирования районов, перспективных на свинцово-цинковое оруденение, а «фемический» (базальтоидные, андезит-базальтовые, базальто-кремнистые формации, амфиболиты, интрузии основного и ультраосновного состава) — на медное оруденение. Этот «внешний» критерий имеет особо важное значение для оценки геохимического типа стратиформных месторождений в геосинклинальных комплексах, в которых резко преобладают терригенные и терригенно-карбонатные формации: в зависимости от типа бортовых массивов, ограничивающих трог, получают развитие или рассохинский*, или успенский тип сланцевой рудоносной формации.

В пределах выделенных по геотектоническому критерию районов с определенной геохимической специализацией прогнозируются перспективные участки, соответствующие полям развития спилит-кератофир-туфосланцевой, дацит-липарит-туфосланцевой или черносланцевой формаций. При прогнозировании конкретных месторождений важ-

* Критерии прогноза рассохинского типа см. в табл. 1 (вклейка между стр. 102 и 103).

нейшее значение имеют стратиграфические, палеотектонические, фациально-палеогеографические и литолого-фациальные критерии: контроль зонами стыка формаций, стратиграфический контроль, контроль потенциально рудоносных лент и полос склонами палеоподнятий, которыми нередко являются локальные участки стратиграфической конденсации разрезов, а для уральского типа — палеовулканические постройки; контроль руд ритмичными парагенезами с частым чередованием литологически разнородных пород.

На участках с уже известными месторождениями для прогнозирования новых месторождений и рудных тел применяются структурно-геометрические методы. Эти методы основаны на интерполяции и экстраполяции с использованием уже выявленных геометрических закономерностей размещения рудных тел: шага между рудоносными полосами и между рудными телами в пределах полос, угла наклона рудоносной поверхности по отношению к стратиграфическим границам. В сложной дислоцированных толщах учитывается также геохимическая и минеральная доскладчатая вертикальная (по нормали к напластованию) и горизонтальная (в плоскости слоев) зональность.

В пределах геосинклинальных комплексов районы, перспективные на месторождения медистых песчаников джезказганского типа, выделяются как пограничные между двух- и трехритмовыми комплексами. Перспективные участки отвечают участкам развития терригенных (нередко пестроцветных) формаций, тесно связанных с конечной стадией заполнения трога, синхронной орогенному этапу развития окружающих глыб ранней консолидации и формированию в них медно-порфировых месторождений.

В локальном плане для прогнозирования конкретных месторождений медистых песчаников среди терригенных формаций третьего (снизу) ритма геосинклинального комплекса в зоне максимальных градиентов мощностей выделяются площади флишевой (лагунно-дельтовой) формации. Методами фациального анализа устанавливается простирание линз баровых и мелководных лагунных парагенезов пород, определяется тип рудной вертикальной (трансгрессивная или регрессивная) и латеральной (джезказганский или удоканский тип) зональности, направление миграции благоприятных фациальных зон. По размерам лагунно-дельтовой линзы производится ориентировочная оценка прогнозных запасов месторождения, а по устойчивости в пространстве парагенезов пород (литолого-фациальных зон) — его компактность.

Несмотря на существенные отличия между охарактеризованными выше главными меднорудными формациями, для них можно отметить ряд общих особенностей, на которых основываются региональные критерии прогнозирования.

1. Для формаций медно-никелевых и полиметаллически-колчеданных руд, а также медистых сланцев и песчаников общим является контроль их краевыми частями геосинклинальных комплексов с «фемическим» основанием.

2. Для всех меднорудных формаций как общий критерий можно отметить контроль рудных районов или узлов пересечением геосинклинальных трогов с трансрегиональными разломами, поперечными к трогам или секущими их под некоторым углом. Эти разломы можно рассматривать как континентальные аналоги трансформных разломов океанической коры. При этом формации медно-никелевых, полиметаллически-колчеданных руд и медистых сланцев контролируются трансрегиональными разломами, близкими по времени или синхронными с формированием геосинклинальных эффузивно-интрузивных или эффузивно-осадочных рудоносных комплексов, а медистые песчаники и медно-порфировые месторождения контролируются более поздними разломами, связанными с орогенным этапом развития областей.

Опыт применения системного анализа при прогнозировании медных стратиформных крупных месторождений
(Составил Э. И. Кутырев)

Масштаб прогнозов	Последовательность		Факторы и закономерности размещения оруденения			
	Прогнозирования	Установления закономерностей	Тип рудной формации	Формация медистых песчаников (джезказганский тип)	Формация медистых сланцев (успенский тип)	
Мелкий	1	12	Трансрегиональный структурно-геометрический контроль	Рудные районы на пересечении геосинклинальных комплексов с планетарными трансформными зонами		
	2	11	Геотектоническая позиция рудоносного комплекса	В центрально-площадных зонах унаследованных геосинклинальных трогов, окруженных блоками гетерогенного состава, представленными интрузивными, вулканогенными, осадочными и метасоматическими формациями пестрого преимущественно „фемического“ состава	Преимущественно в линейных геосинклинальных трогах, граничащих с блоками ранней консолидации фемического и сиалического типов. Вулканизм в трогах ослабленный	
	3	10	Тип рудоносного комплекса и положение в нем рудоносного ритма	Двух- и трехритмовый комплексы мощностью свыше 5 км. Рудоносен третий ритм на границе с двухритмовым комплексом	Преимущественно одно- и двухритмовый комплекс мощностью свыше 5 км	
	4	9	Характерное положение рудоносной формации и примерная последовательность формаций в ритме (снизу вверх)	В средней, иногда в нижней части третьего (снизу) ритма. Моласса песчаная, флиш рудоносный (часто пестроцветный), карбонатная, соленосная или песчано-сланцевая	В средней или верхней части второго ритма, в верхней части одноритмового комплекса. Базальто-кремнистая, аспидная, флишевая, черносланцевая (тонкий флиш) рудоносная, карбонатная	
Средний	5	8	Латеральные ряды рудоносных формаций	От блоков ранней консолидации к оси трогов: меднопорфировая → железорудная, терригенная → медистых песчаников → медистых сланцев → цинк-свинцовоносных сланцев	Вдоль оси трогов: Fe и (или) Mn-носная → атасуйский, уральский или алтайский → успенский → расхохинский, уральский → успенский. Поперек трогов от периферии к оси: алтайский → уральский → успенский → серноколчеданная Fe- или Mn-кремнистая, базальто-кремнистая, кремнисто-карбонатная	
	6	7	Рудоносная формация	Терригенная (часто пестроцветная) флишевая	Черносланцевая (тонкий флиш), базальт-липарит-туфосланцевая	
Крупный	7	6	Структурно-геометрические закономерности	Региональные	Месторождения имеют форму линз 15×6×0,3 км. Рудные ленты приурочены к ступенчатой геометрической поверхности, „мигрирующей“ в разрезе вслед за телами баровых песчаников. Количество лент вдвое больше флишевых ритмов или тел баровых песчаников. Из них половина содержит богатое оруденение	Стратиграфический контроль оруденения. В пределах формации или свиты рудная минерализация образует геометрическую поверхность, согласную с напластованием в сечении, параллельном простиранию фациальных зон и границам палеоподнятий
	8	5		Локальные	В пределах рудных лент сгущения богатых рудных тел, поперечных простиранию лент, наблюдаются с устойчивым шагом	В пределах рудных лент сгущения рудных тел наблюдаются с устойчивым шагом

Масштаб прогнозов	Последовательность		Факторы и закономерности размещения оруденения			
	Прогнозирования	Установления закономерностей	Тип рудной формации	Формация медистых песчаников (джезказганский тип)	Формация медистых сланцев (успенский тип)	
Крупный	9	4	Доскладчатая зональность минеральных парагенезов в рудных телах и месторождениях	Латеральная	Борнит-халькозин ← борнит-халькопирит ← пирит-халькопирит → халькопирит-борнит → борнит-халькозин. Обычно прибрежная (джезказганский тип) или предбаровая (удоканский тип) полоса борнит-халькозинового парагенеза редуцирована	Пирит-пирротин ← пирит-халькопирит ← пирит-халькопирит-сфалерит ← сфалерит-галенит → пирит-халькопирит-сфалерит → пирит-халькопирит → пирит-пирротин
	10	3		Вертикальная	Пирит-халькопирит → халькопирит-борнит → борнит-халькозин; пирит-халькопирит → галенит-сфалерит	Пирит-пирротин → пирит-пирротин-халькопирит → пирит-халькопирит-сфалерит → сфалерит-галенит
	11	2	Рудоносные породы и парагенезы пород		Косослоистые песчаники подводно-руловых потоков, прируловых кос и валов, волнисто-косослоистые и волнисто-слоистые алевролиты (борнит-халькозин), горизонтально-слоистые и волнисто-косослоистые алевролиты и аргиллиты (пирит-халькопирит) во флишевых парагенезах пород	Черные „углистые“, кремнисто-глинистые, глинистые сланцы во флишевых (ритмично-слоистых) парагенезах пород
	12	1	Элементы, определяющие промышленную ценность месторождений		Главные: Cu Второстепенные: Pb, Zn, Ag, Au, Re	Cu Pb, Zn, Ag, Au, Co, Ni, As, Sb

3. Если для формаций медно-никелевых, полиметаллически-колчеданных руд и медистых сланцев прогнозируемые металлогенические зоны соответствуют «геосинклинальным трогам», то для медно-порфировой формации положение зон определяется трансрегиональными (трансформными) разломами. В то же время понятие «прогнозируемый рудный район», отвечающее площадям пересечения геосинклинального трога и трансрегионального разлома, совпадает для всех перечисленных типов рудных формаций.

4. Общим для формации медно-никелевых, полиметаллически-колчеданных, медно-порфировых руд и медистых сланцев является фактор контроля месторождений и рудных тел зонами нарушений второго и третьего порядков, опережающими трансрегиональные разломы.

5. Между меднорудными формациями намечаются также определенные пространственно-временные связи, которые должны учитываться при прогнозировании: формация медно-никелевых руд располагается в эффузивно-интрузивном комплексе основания геосинклинальных трогов, формация медистых сланцев, нередко замещающая по простиранию полиметаллически-колчеданную, в нижней части эффузивно-осадочного комплекса, а формация медистых песчаников — в верхней части последнего. Синхронный латеральный ряд образуют медистые песчаники и месторождения медно-порфировой формации.

6. Необходимо также обратить внимание на повышенные (близкие к промышленным) содержания меди, кобальта и никеля в сланцевых толщах, вмещающих гипербазитовые рудоносные массивы, и на теоретически возможный латеральный ряд формаций: медно-никелевых руд — медистых сланцев (с никелем и кобальтом).

7. Из числа общих критериев при прогнозировании определенный интерес может представить литологический фактор: распространение среди толщ, вмещающих интрузивные массивы с промышленным медно-никелевым и медно-молибденовым оруденением, гипсоносных пород, подобных тем, которые замещают по простиранию или подстилают формацию медистых песчаников.

Итоги проведенного анализа перспектив территории СССР на медные руды можно резюмировать следующим образом.

1. Ведущими на ближайшее десятилетие останутся охарактеризованные выше четыре главные рудные формации: I, III, V, VII (табл. 1) сульфидных медно-никелевых, медно-порфировых, медно- и полиметаллически-колчеданных руд и медистых песчаников. Существующее в настоящее время соотношение балансовых запасов, приходящихся на эти формации, сохранится приблизительно на том же уровне.

2. В дальнейшем распределение запасов между отдельными формациями может видоизмениться: постепенно, по-видимому, начнет возрастать значение месторождений медноколчеданной и медносланцевой формаций за счет открытия месторождений на относительно больших глубинах. В целом по Советскому Союзу наиболее широкие площади выдвинуты как перспективные для поисков месторождений именно этих двух рудных формаций на основании распространения благоприятных для них геологических формаций.

3. Не исчерпаны также возможности открытия крупных месторождений медистых песчаников, хотя весьма специфический набор факторов, контролирующих эти месторождения, дает основание прогнозировать возможность открытия лишь небольшого числа крупных месторождений этой формации. В какой-то мере это относится и к медно-никелевым месторождениям.

4. Следует иметь в виду возможность открытия крупных месторождений медистых сланцев в авлакогенах платформенных областей на больших глубинах (более 1000 м).

В результате проведенного анализа территории СССР намечен ряд площадей, перспективных на месторождения различных формационных типов как в уже известных, так и в новых районах.

Для *формации сульфидных $Cu-Ni$ руд* перспективные площади выделены в пределах уже известных территорий: на севере Сибирской платформы — Предтаймырская и Нижне-Енисейская зоны; в Карело-Кольском регионе — наиболее перспективная Печенгская зона; в Северном Прибайкалье, на Воронежском щите.

Для *медно-порфировой формации* наряду с площадями в районах с уже известными месторождениями (Центральный Казахстан, Средняя Азия, Армения, Красноярский край и др.) намечены перспективные площади в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, на территории Приморья, Западного Забайкалья, Восточного Казахстана, Полярного Урала и др.

Для *медно- и полиметаллически-колчеданной формации*, кроме Алтая, Урала и Кавказа, где запасы могут возрасти более чем в 2—3 раза по сравнению с имеющимися, перспективные площади выделены на Полярном Урале, Мугоджарах, Горном Алтае, Казахстане, Забайкалье, Приморье, Северо-Востоке, в Приверхожье и др.

Для *медистых сланцев* перспективные площади наиболее обширны и выделены на Кавказе, Урале, в Казахстане, Алтае-Саянской области, на Енисейском кряже, в Прибайкалье и Забайкалье, Кодаро-Удоканской зоне, Майско-Кыллахской зоне, на Северо-Востоке, в Приморье, Верхоянье.

Для *медистых песчаников* перспективные площади намечены в Центральном Казахстане, на Мангышлаке, Урале, в южном обрамлении Сибирской платформы (Кодаро-Удоканская, Бодайбинская, Намаминская, Улканская зоны), в Алтае-Саянской области, Енисейском кряже и других регионах.

Э. И. Кутырев, К. А. Марков, В. С. Кормилицын, А. К. Иогансон

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА

Большая часть балансовых запасов свинца и цинка СССР (около 70%) заключена примерно в 25 крупных объектах. Мелкие месторождения этих металлов являются источником сырья только в некоторых горно-рудных районах (Восточное Забайкалье, Закавказье и др.).

Выявленные в настоящее время запасы свинца и цинка уже не могут в полной мере удовлетворять потребности промышленности, что особенно остро ощущается в ряде старых горно-рудных районов страны (Рудный Алтай, Урал, Забайкалье, Приморье и др.). В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы прогнозной оценки как старых, так и новых рудных районов с целью выявления крупных промышленных концентраций свинца и цинка. Одним из наиболее эффективных методов решения этих вопросов является формационный анализ.

В настоящее время не существует единой общепринятой формационной классификации свинцово-цинковых месторождений. Предлагаемая ниже классификация промышленных свинцово-цинковых объектов также не является всеобъемлющей, однако, как нам представляется, она наиболее целесообразна при решении таких вопросов прикладного характера, как прогнозирование и оценка перспектив отдельных регионов. С этой точки зрения все многообразие промышленных концентраций свинца и цинка по своим геолого-промышленным параметрам и условиям локализации может быть подразделено на стратиформные и несогласные жильные месторождения. Месторождения первого типа

Опыт применения системного анализа при прогнозировании крупных стратиформных свинцово-цинковых месторождений
(Составил Э. И. Кутырев)

Прогнозы	Последовательность		Факторы контроля оруденения	Тип рудной формации														
	прогнози-рования	установления закономерностей		Уральский (1)	Алтайский (2)	Атасуйский (3)	Рассохинский (4)	Миргалимсайский (5)	Сарданинский (6)									
Мелко- и среднemasштабные	1	12	Трансрегиональный структурно-геометрический контроль	Рудные районы на пересечении геосинклинальных комплексов с планетарными трансформными зонами														
	2	11	Геотектоническая позиция рудоносного комплекса	В линейных и центральноплощадных геосинклинальных трогах, граничащих с блоками ранней консолидации (срединными массивами, глыбами щитов и платформ, палеотектоническими внутригеосинклинальными поднятиями) фемического (1) и сиалического (2-6) типов														
	3	10	Тип рудоносного комплекса и положение в нем рудоносного парагенеза формаций (ритма)	Весьма интенсивный		Предшествующий формированию рудоносных горизонтов вулканизм		Слабый или не проявлен										
				Одно- и двухритмовый комплекс мощностью свыше 5 км. Рудоносны оба ритма, чаще нижний	Двух- и трехритмовый комплекс со структурным несогласием между метаморфизованным ритмом основания и двумя верхними ритмами. Оруденение в среднем, реже в верхнем ритме	Одно- и двухритмовый комплекс мощностью свыше 5 км. Рудоносны оба, чаще второй ритм	Двухритмовый комплекс мощностью свыше 5 км. Рудоносен второй ритм	Одно-, двух- или трехритмовый комплекс мощностью свыше 5 км										
	4	9	Характерное положение рудоносной формации	В верхней части первого, в нижней и средней частях второго ритма	В средней и верхней частях второго ритма	В верхней части ритмов	В средней части ритма	В верхней части ритма	В верхней части ритма									
				Примерная последовательность формаций в ритме (снизу вверх)	Базальто-кремнистая → глинисто-кремнистая → спилит-кератофир-туфосланцевая → карбонатная или флишевая	Базальт-липаритовая → дацит-липарит-туфосланцевая (эффузивно-терригенный флиш) → карбонатная	Эффузивно-осадочная моласса или флиш → кремнисто-карбонатная или эффузивно-кремнисто-карбонатная	Аспидная, флишевая, черносланцевая, флишевая, карбонатная	Эффузивно-терригенная моласса, флиш → известняково-доломитовая темноцветная и светлоцветная	Флиш или моласса → черносланцевая → чернокарбонатная, переходящая по простиранию в известняково-доломитовую рифовую								
5	8	Латеральные ряды рудоносных формаций	Вдоль оси трогов: Fe- и (или) Mn-носная → атасуйский, уральский или алтайский → рассохинский → миргалимсайский → сарданинский; Fe- и (или) Mn-носная → атасуйский → рассохинский. Поперек трогов, от периферии к оси: сарданинский → миргалимсайский → рассохинский → Fe-Mn-носная; алтайский → уральский; алтайский → рассохинский															
6	7	Рудоносная формация	Спилит-кератофир-туфосланцевая (эффузивно-терригенный флиш)	Дацил-липарит-туфосланцевая (эффузивно-терригенный флиш)	Терригенно-вулканогенно-кремнисто-карбонатная, кремнисто-карбонатная (эффузивно-карбонатный флиш)	Черносланцевая (углисто-кремнисто-глинистая, терригенная флишевая)	Известняково-доломитовая темноцветная	Известняково-доломитовая светлоцветная										
Крупномасштабные	7	6	Структурно-геометрические закономерности	Региональные	Стратиграфический контроль оруденения													
	8	5		Локальные	В пределах рудных лент сгущения рудных тел контролируются доскладчатыми системами разломов с устойчивым или закономерно меняющимся шагом между ними													
	9	4	Доскладчатая зональность минеральных парагенезов в рудных телах и месторождениях	Латеральная	В прибрежных или окаймляющих палеоподнятия рудных лентх повышается содержание сфалерита, халькопирита и пирита		Пирит-сфалерит ← халькопирит-пирит → пирит-сфалерит		Пирит ← сфалерит-халькопирит → галенит-сфалерит → сфалерит-халькопирит → пирит		Fe, Mn → барит-галенит → галенит → галенит-сфалерит → Fe, Mn		Пирит-сфалерит ← галенит-сфалерит → пирит-сфалерит		Галенит-сфалерит ← барит-галенит → галенит-сфалерит		(Cu) → галенит → галенит-сфалерит	
				Вертикальная	Пирит-пирротин-халькопирит → пирит-халькопирит-сфалерит → сфалерит-галенит → борнит-халькозин → барит-гематит		Преобладает левая половина ряда		Преобладает правая половина ряда		Пирит-пирротин → пирит-сфалерит → сфалерит-галенит		Пирит-сфалерит → сфалерит-галенит		Не характерна			
	11	2	Рудоносные породы и породные парагенезы	Разнообразные пористые породы, преимущественно туфы, туфоалевролиты, алевролиты, реже известняки, кремнисто-известковистые породы во флишевых парагенезах		Кремнистые известняки, известковистые доломиты, сидеритистые, анкеритистые известняки и доломиты		Черные „углистые“ кремнисто-глинистые сланцы, глинистые сланцы во флишоидных (ритмичных) парагенезах		Черные „искристые“ доломиты, доломитистые известняки		Светлые рифовые массивные и строматолитовые пористые доломиты, доломитовые брекчии						
12	1	Элементы, определяющие промышленную ценность месторождений (главные и второстепенные)	Cu, Ag, Au, Zn, Pb		Pb, Ag, Au, Cu, Zn, Sb, As, Ba, Cd		Zn, Pb, Mn, Fe, Ag, Cd		Zn, Pb, Ag, Cd, As, Sb, Sn		Pb, Zn, Ag, Cd		Zn, Pb, Ag, Cd, Ge					

являются главными носителями свинца и цинка. Именно с ними связаны крупнейшие концентрации рассматриваемых металлов во всех регионах мира. Промышленное значение месторождений второй группы очень незначительно, хотя для Центрального Казахстана, Восточного Забайкалья, Приморья и Северо-Востока СССР месторождения именно этого типа до сих пор являлись предметом поисков и эксплуатации.

Исходя из особенностей вещественного состава, зональности и типовых геолого-тектонических обстановок проявления стратиформных месторождений, их можно подразделить на три группы формаций:

1) колчеданных месторождений, ассоциирующих с субмаринным дифференцированным вулканизмом ранних стадий развития геосинклинальных прогибов;

2) свинцово-цинковых месторождений в геосинклинальных терригенных (песчано-сланцевых) толщах;

3) свинцово-цинковых месторождений в геосинклинальных карбонатных толщах.*

По ряду признаков (отношение меди к свинцу и цинку, состав вмещающих толщ и др. — см. табл. 1) эти формационные группы в свою очередь подразделяются на отдельные формации, связанные постепенными «изоморфными» переходами. Так, колчеданная группа формаций подразделяется на медно-колчеданную (уральский тип) и колчеданно-полиметаллическую формации (алтайский тип). Первая из них развита в областях проявления спилит-кератофир-туфосланцевой, а вторая — дацит-липарит-туфосланцевой рудоносных формаций.

Группа свинцово-цинковых формаций в терригенных породах подразделяется на существенно медную в песчаниках (здесь не рассматривается) и свинцово-цинковую формацию, ассоциирующую с черными сланцами (рассохинский тип).

Свинцово-цинковые месторождения в карбонатных породах по этим же признакам подразделяются на собственно свинцово-цинковую (миргалимсайский тип) и несколько более медистую (сарданинский тип) рудные формации. Первая ассоциирует с темноцветной, вторая со светлой известково-доломитовыми формациями. Как бы промежуточное положение между колчеданными и «амагматичными» группами рудных формаций занимает формация свинцово-цинковых месторождений с железом и марганцем, развитая в области с редуцированным вулканизмом (атасуйский удаленно-вулканогенный тип колчеданной группы формаций).

Новые фактические данные по алтайским (А. Н. Кен, В. И. Васильев, 1970), прибайкальским, енисейским свинцово-цинковым, медно-колчеданным, колчеданно-полиметаллическим стратиформным месторождениям свидетельствуют о том, что как в геосинклинальных трогах с субмаринным вулканизмом, так и в краевых их частях с терригенными и карбонатными формациями стратиформные рудные залежи в каждой конкретной рудной провинции являются близкоодновременными до складчатыми образованиями.

Почти во всех районах развития стратиформных колчеданно-полиметаллических месторождений (независимо от геологического возраста последних) установлена вертикальная и горизонтальная рудная зональность локального и регионального характера (А. Н. Кен, В. И. Васильев, 1970, и др.). Локальная вертикальная зональность выражается в обогащении нижних частей залежей сульфидами железа и меди, в концентрации сфалерита в средних их частях и в обогащении верхних прикровлевых частей залежей галенитом и баритом. Локальная горизонтальная зональность (в плане) обусловлена сменой существенно гале-

* По представлениям В. С. Кормилицына и К. А. Маркова, перечисленные группы стратиформных месторождений относятся к одному формационному типу.

нитовой минерализации халькопиритовой в направлении от осевых частей рудных лент к их периферии. Региональная горизонтальная или латеральная зональность вызвана сменой полиметаллического оруденения колчеданно-полиметаллическим и существенно медно-колчеданным в направлении от внутригеоантиклинальных поднятий в глубь геосинклинальных прогибов.

Характерно, что в этом же направлении состав контрастно-дифференцированных вулканогенных формаций меняется от более кислых продуктов к более основным.

Детальные работы, проведенные в районах развития свинцово-цинковых месторождений «амагматических» формаций, также выявили характерные признаки проявления вулканической деятельности (наличие прослоев туфогенных и кремнистых пород и др.), близко синхронной к рудообразованию. Эти обстоятельства наряду со сходным характером зональности «амагматических» месторождений позволяют отметить определенную зависимость состава и распространения оруденения от состава и локализации продуктов геосинклинального вулканизма и тем самым наметить отдаленные парагенетические связи стратиформных месторождений с доскладчатыми вулканическими процессами. Другими словами, месторождения рассматриваемых рудных формаций образуют единый прерывисто-непрерывный ряд отдаленно родственных объектов, отдельные звенья которого находят конкретное выражение в реальных геологических обстановках.

Однако наряду с определенной общностью всей группы доскладчатых стратиформных месторождений отдельные члены этого ряда обладают существенными различиями, которые приобретают особенно большое значение при средне-крупномасштабном прогнозировании.

Для месторождений колчеданной группы, руды которых обладают наиболее ясно выраженными признаками эпигенетического происхождения, решающее значение приобретает положение доскладчатого рудоносного уровня (А. Н. Кен, 1971).

В Рудно-Алтайской провинции колчеданные залежи приурочены к одному рудоносному уровню, который скользит по стратиграфическому разрезу девонских отложений вкострости прогибов, образуя угол в $5-8^\circ$ с напластованием вмещающих пород. Аналогичное скольжение по разрезу отмечается для девонских полиметаллических, колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных стратиформных рудных залежей зоны Передового хребта Большого Кавказа. Явление скольжения трудно заметить при картировании и отработке отдельных изолированных рудных залежей, однако оно отчетливо улавливается при наличии систем рудных лент в пределах таких крупных рудных полей, какими, например, являются Белоусовское в Рудном Алтае, где, по данным А. В. Табатчикова, система стратиформных рудных лент Белоусовского месторождения на протяжении 5 км мигрирует вверх по стратиграфическому разрезу на 130 м.

В пределах крупных геосинклинальных прогибов общая амплитуда миграции рудных залежей одного доскладчатого геологического возраста измеряется многими сотнями метров, в результате чего оруденение может «простреливать» практически весь стратиграфический разрез геосинклинального трога с субмаринным вулканизмом.

Для рудоносных черносланцевых и карбонатных формаций со слабым или практически не проявленным синхронным вулканизмом, напротив, характерна четкая приуроченность рудных залежей к определенному стратиграфическому горизонту в пределах каждого рудного поля, что особенно четко проявлено на Мирглимсайском месторождении. В этом же типе месторождений, в отличие от колчеданных, литолого-фациальный контроль оруденения имеет главенствующее значение.

Значение месторождений жильного типа, как уже было сказано, невелико. Однако, учитывая, что руды этого типа обычно несут особенно высокие содержания свинца, цинка и других полезных компонентов, а также то обстоятельство, что жильные месторождения редко встречаются обособленно и, как правило, образуют большие группы, отдельные районы их развития могут представлять определенный практический интерес.

Все объекты жильного типа в зависимости от особенностей состава и геолого-тектонической обстановки формирования могут быть подразделены на два формационных типа: 1) месторождения в ореолах развития гранодиоритового и андезит-плагиолипаритового магматизма и 2) месторождения в ореолах развития диорит-лейкогранитового и липаритового магматизма.

Для первого формационного типа характерны тесная ассоциация свинцово-цинковых объектов с концентрациями молибдена, золота и вольфрама, а для второго — с проявлениями олова.

Основные сведения о региональных и локальных рудоконтролирующих факторах для этих месторождений приведены в табл. 2.

Исходя из принципов структурно-вещественного подхода к анализу геологических объектов и представлений об их иерархическом подразделении (В. И. Драгунов, В. И. Васильев, Д. В. Рундквист), Э. И. Кутыревым была предложена схема прогноза промышленных свинцово-цинковых месторождений (табл. 1).

В основу прогнозирования всех масштабов как стратиформных, так и жильных месторождений положено выделение структурно-вещественных ассоциаций различных уровней организации и оценка их рудоносности (системный анализ). При этом совокупность операций, предваряющих и включающих прогнозирование, выражается следующей последовательностью: 1) классификация месторождений по уровням и типам рудоносных структурно-вещественных ассоциаций; 2) дополнительная классификация месторождений по промышленной ценности; 3) рассмотрение факторов размещения оруденения (от частных к общим); 4) установление закономерностей размещения оруденения (от частных к общим); 5) критерии прогнозирования месторождений (от общих к частным); 6) составление геологических карт прогноза.

Однако следует иметь в виду, что свинцово-цинковые месторождения различных конкретных формаций обладают своими особенностями, обусловленными провинциальной спецификой отдельных регионов: различные размеры и морфология рудных залежей, характер их распределения в пределах рудоносного уровня, интенсивность и экстенсивность процессов рудообразования, сульфидная, окисная или карбонатная формы фиксации железа, характер дифференциации продуктов вулканогенных формаций и т. д.

Поэтому перечисленные в табл. 1 и 2 региональные и локальные факторы контроля месторождений свинца и цинка необходимо рассматривать с позиций общего руководства. Применение этих критериев к конкретным формациям отдельных регионов требует от исследователей внимательного и творческого отношения к анализу той геологической обстановки, с которой приходится иметь дело на практике.

Изложенные принципы подхода к формационному анализу свинцово-цинковых месторождений, региональные и локальные факторы контроля таких месторождений, общие геолого-тектонические и металлогенические особенности территории СССР, а также имеющиеся в настоящее время фактические данные позволяют в общем виде охарактеризовать перспективы отдельных регионов для поисков наиболее важных в практическом отношении стратиформных месторождений свинца и цинка следующим образом.

**Свинцово-цинковые месторождения в ореолах развития
гранитоидного магматизма**

Региональные и локальные факторы контроля и прогнозирования	Формационный тип	
	Золото-молибденово-свинцово-цинковый	Оловянно-свинцово-цинковый
Основные и второстепенные элементы, определяющие экономическую ценность месторождения	Pb, Zn, (Au, Sb, Ag, Cd, In, Bi, As, Cu, Mo)	Pb, Zn, Ag, (Sb, Cd, In, As, Bi, Sn, Cu)
Метасоматические изменения вмещающих пород	Предрудный этап: окварцевание, турмалинизация, хлоритизация, скарновые силикаты (в известняках) Рудный этап: окварцевание, карбонатизация (серцитизация, хлоритизация, пиритизация)	
Структурно-литологические закономерности размещения рудных тел, их морфология	1. Жилообразные тела в трещинных зонах с обособлениями богатых руд (рудные столбы) в местах разветвления и коленчатых изгибов рудоносных структур 2. Трубообразные, штокообразные тела на участках пересечения разноориентированных трещинных зон в псевдоизотропной среде 3. Псевдопластовые и карманообразные тела на участках пересечения пластов литологически благоприятных пород (известняков) с рудоподводящими трещинными нарушениями	
Стадии минерализации и парагенетические ассоциации	Стадийность процесса рудоотложения проявлена отчетливо. Минеральные парагенетические ассоциации, соответствующие стадиям, образуют прерывисто-непрерывный ряд, отдельные члены которого с различной полнотой проявлены на конкретных месторождениях Кварц-турмалин-молибденит (золото) → кварц-галенит-сфалерит-халькопирит-пирит → галенит-сфалерит-халькопирит-пирит → галенит-сфалерит-кварц-карбонаты → кварц-карбонаты-антимонит-сульфосоли (Cu, Sb)	
Зональность рудных тел	Наиболее типичны — пульсационная зональность и телескопирование. На флангах и верхних горизонтах месторождений преобладают карбонаты, сульфосоли (Ag, Sb, Cu) и антимонит. Галенит и сфалерит наиболее характерны для средней зоны	
Зональность рудных районов и зон	Сложные ряды от более высокотемпературных к низкотемпературным объектам: Mo (Au) → Pb, Zn (Cu, Au) → Sb (As, Cu)	
Комагматичные ряды рудоносных интрузивных и вулканогенных формаций	Диорит-гранодиоритовая и андезит-плагиолипаритовая	Диорит-лейкогранитовая и липаритовая

Региональные и локальные факторы контроля и прогнозирования	Формационный тип	
	Золото-молибденово-свинцово-цинковый	Оловянно-свинцово-цинковый
Тектоническое положение рудоносных магматических формаций	<ol style="list-style-type: none"> 1. Приосевые части складчатых зон 2. Краевые швы в областях сочленения складчатых зон с жесткими массивами 3. Унаследованные глубинные разломы зон активизации 4. Нижний структурный этаж вулканических поясов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Скрытые зоны разломов фундамента, поперечные к складчатости 2. Зоны приразломных наложенных впадин орогенного этапа развития подвижных зон 3. Краевые швы в областях сочленения складчатых зон с жесткими массивами 4. Верхний структурный этаж вулканических поясов
Геотектоническое положение	Орогенный этап развития подвижных зон и стадия тектоно-магматической активизации консолидированных блоков земной коры	

Известные горно-рудные провинции. Потенциальные возможности Рудного Алтая в отношении открытия новых стратиформных месторождений до сих пор остаются неоцененными и нераскрытыми, так как в течение нескольких десятилетий поиски месторождений в этом регионе проводились с позиции контроля оруденения постскладчатыми разломами. Обоснованное фактическими данными положение о приуроченности стратиформных залежей к доскладчатому раннекарбонному рудоносному уровню (А. Н. Кен, В. И. Васильев, 1970) требует пересмотра фактического материала и существенной переориентировки поисковых работ. Проверка новых представлений завершилась в 1972 г. открытием смещенной части Белоусовского месторождения, что может служить наглядным примером плодотворности практического использования понятия о рудоносном уровне в этом, казалось бы, хорошо изученном регионе.

Представления о широком и закономерном развитии стратиформных рудных залежей на каледонском, герцинском, киммерийском и альпийском рудоносных уровнях Кавказа, а также на каледонском и герцинском уровнях Урала в значительной мере меняют перспективную прогнозную оценку этих полициклических складчатых областей.

Новые рудные провинции и районы. Наличие протерозойских стратиформных полиметаллических месторождений в Енисейском кряже, кембрийских месторождений того же типа в Западном Забайкалье и ряда более мелких свинцово-цинковых месторождений на западном побережье оз. Байкал позволило выделить в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы Енисейско-Байкальский рудный пояс, приуроченный к системе глубинных разломов Саяно-Байкальского структурного шва (В. С. Кормилицын, 1966). Существование этого пояса подтвердилось в 1968 г. открытием позднепротерозойского стратиформного Холоднинского месторождения, а в 1971—1972 гг. геологами Якутского геологического управления при участии Э. И. Кутырева и А. К. Иогансона было установлено продолжение этого трансрегионального рудного пояса в восточном складчатом обрамлении Сибирской платформы. В связи с этими открытиями все юго-западное, южное и восточное складчатое обрамление Сибирской платформы приобретает особый интерес и может рассматриваться как енисейская, саянская, прибайкальская и майско-кыллахская единая серия новых рудных

провинций, в пределах которой стратиформные месторождения приурочены в основном к двум рудоносным уровням — позднепротерозойскому и кембрийскому.

Не менее благоприятной для развития стратиформного полиметаллического оруденения является геологическая обстановка Колымского «срединного массива». Слагающие эту структуру геосинклинальные вулканогенно-осадочные и карбонатные формации палеозойского и мезозойского структурных этажей и заключенные в них полиметаллические образования могут приобрести иное значение, чем это представлялось до сих пор.

Анализ перспектив территории СССР на стратиформные свинцово-цинковые руды позволил дать формулы распределения прогнозных запасов этих металлов по основным областям и районам Советского Союза. В приведенных формулах формации стратиформных свинцово-цинковых месторождений обозначены номерами (см. табл. 1), которые расположены в убывающем порядке в зависимости от их предполагаемой значимости в пределах каждого региона.

I. Юг Сибири (докембрий — нижний палеозой). Енисейский кряж — 3, 4, 5, 6, 2, 1; Майско-Кыллахская область — 6, 5, 4; Прибайкалье и Забайкалье — 4, 3, 5, 6, 2, 1.

II. Казахстано-Тянь-Шаньская область (средний палеозой): Восточный Казахстан (с Горным Алтаем) — 2, 1, 4, 3, 5, 6; Южный Казахстан — 4, 2, 3, 1, 5, 6; Срединный Тянь-Шань — 5, 6, 4, 2, 3; Южный Тянь-Шань — 2, 5, 4, 3, 6, 1.

III. Урал: Южный и Средний Урал (с Тургаем) — 1, 4, 2, 3, 6, 5; Северный и Полярный Урал — 4, 3, 6, 5, 2, 1.

IV. Северо-Восток СССР (с Камчаткой) — 4, 6, 3, 5, 1, 2.

V. Кавказ и Закавказье — 4, 2, 1, 3, 5, 6.

VI. Приморье — 4, 2, 3, 5, 1, 6.

VII. Таймыр и Новая Земля — 3, 6, 5, 4, 2, 1.

VIII. Русская и Сибирская платформы: чехол — 6, 5, 4, фундамент — 4, 5, 6, 3, 2, 1.

IX. Авлакогены на Русской, Туранской и Западно-Сибирской платформах — 4, 5, 6, 3, 2, 1.

Представления о едином зональном ряде стратиформных месторождений, формирующихся в типовых геолого-тектонических обстановках и приуроченных к доскладчатому рудоносному уровню, приобретают исключительно важное научное и прикладное значение. Они становятся особенно важными еще и потому, что группа стратиформных свинцово-цинковых месторождений является лишь составной частью более обширного генетически родственного ряда формационных типов доскладчатых месторождений, к которым должны быть отнесены стратиформные железорудные (гематитовые, сидеритовые и магнетитовые), марганцевые, фосфоритовые и некоторые сурьмяные месторождения (см. тезисы доклада В. И. Бергера и др.). В основу прогнозирования и поиска таких месторождений должны быть положены обязательные палеометаллогенические реконструкции на периоды образования соответствующих рудоносных уровней с учетом изложенных выше региональных и локальных рудоконтролирующих факторов.

В. Т. Матвеевко

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛОВА

Многолетние исследования советских геологов позволили определить главные оловоносные площади, выявить основные геологические и тектонические предпосылки образования во времени и размещения в пространстве месторождений различной формационной принадлежно-

сти и морфологических типов. На основе этого стало возможным дальнейшее прогнозирование олова как в известных, так и в новых районах.

Большие ресурсы олова сосредоточены в трех провинциях Востока СССР — в Верхояно-Чукотской, Сихотэ-Алинской и Монголо-Охотской, где около 95% разведанных запасов металла приходится на долю коренных месторождений, а остальные — на долю аллювиальных россыпей; основные запасы металла заключены в крупных объектах. Среднее содержание олова в разведанных месторождениях находится на уровне средних содержаний зарубежных месторождений. Руды многих месторождений труднообогатимы; большинство объектов находится в неблагоприятных географо-экономических условиях с объективно высокой стоимостью строительства.

Значительное увеличение потребления металла в народном хозяйстве и, видимо, существенное «погашение» к 2000 г. разведанных запасов ставит задачу к этому времени обнаружить и разведать очень много новых промышленных месторождений. Задача эта весьма трудная и может быть решена только при условии разведки известных, в общем небогатых, штокверковых месторождений и открытия новых аналогичных месторождений в «старых» и новых районах.

Главнейшие оловорудные формации

По совокупности признаков месторождения и рудопроявления олова объединены в шесть формаций: 1) касситерит-пегматитовую; 2) касситерит-кварцевую (или касситерит-грейзено-кварцевую); 3) касситерит-скарновую (или касситерит-боратоскарновую); 4) касситерит-кварцевую, богатую железистыми силикатами или сульфидами (или теми и другими); 5) касситерит-сульфидную (в основном касситерит-галенит-сфалеритовую); 6) касситерит-риолитовую. Перечисленные формации разделяются на два типа — плутоногенную и вулканогенную.

По практическому значению на территории СССР первое место принадлежит формации касситерит-кварцевых месторождений, богатых железистыми силикатами и сульфатами; в месторождениях этой формации заключены основные запасы учтенного металла. Часть их взаимосвязана с плутоногенными интрузивными образованиями пестрого петрографического состава, скорее всего производными основной магмы. Второе место занимают представители касситерит-кварцевой формации, принадлежащие в основном к штокверкам; они ассоциируют с кислыми гранитными интрузивами, производными магм гранито-гнейсового слоя.

По морфологическим признакам месторождения разделяются на четыре группы: 1) простые жилы и их системы; 2) линейные зоны дробления и брекчирования различных пород, но главным образом в той или иной степени ороговикованных песчаников и сланцев; 3) штокверки; 4) неправильные, пластовые и линзовидные тела. Наиболее промышленно ценными являются месторождения второй группы, затем жильные и штокверковые, причем последние относятся как ко второй, так и к третьей формациям.

Оловоносные территории в СССР распространены очень широко: помимо упомянутых провинций, они известны в Средней Азии, Казахстане, на Кавказе, Енисейском кряже, Русской платформе и в других пунктах. Геологический возраст оловянной минерализации — от протерозойского до эоценового; главная промышленная минерализация позднеюрского — раннемелового возраста.

Оловянное оруденение формировалось главным образом на орогенном складчато-глыбовом этапе развития складчатых областей, реже на общенверсионном этапе. Незначительная часть месторождений образовалась в зонах тектоно-магматического омоложения древних структур, в частности срединных массивов.

Сравнительно детально изученной, опоискованной и разведанной является Верхояно-Чукотская металлогеническая провинция, менее — Сихотэ-Алинская и Монголо-Охотская; уровень изученности и опоискованности других площадей меньший, что объясняется скорее их более слабой оловоносностью, а не отсутствием внимания к ним.

Из общего уровня геологической изученности и опоискованности на олово, при учете, разумеется, фактических данных об оловоносности территории СССР, вытекает вывод, что главные оловоносные площади страны уже определены.

Региональные и локальные критерии оценки оловоносных площадей

Главными металлогеническими факторами возникновения и развития во времени и пространстве оловянного оруденения являются тектонический и магматический, второстепенными — литологический (с петрографическим) и фактор эрозионного среза, хотя последний не является ни рудогенетическим, ни рудолокализирующим.

Наиболее существенные критерии оценки оловоносных площадей с развитием касситерит-грейзено-кварцевой и касситерит-кварцевой, богатой железистыми и сульфидами, и частично других формаций следующие:

Региональные

1. Преимущественно миогеосинклинальные зоны складчатых систем и областей.

2. Песчанико-сланцевые, реже карбонатные и липаритовые формации.

3. Интенсивная линейная складчатость, а также складчато-блоковое сложение районов.

4. Зеленосланцевый региональный метаморфизм геосинклинально-складчатого комплекса.

5. Наличие коровых магмовыводящих разрывов и узлов их пересечений, особенно поперечных генеральному направлению складок.

6. Наличие зон мезозойского тектоно-магматического омоложения древних структур.

7. Массовое проявление кислого гранитного магматизма в общинверсионный этап и близповерхностного магматизма «пестрого» состава в орогенный этап, в том числе в зонах омоложения.

8. Широкое проявление боровой и фторовой минерализации.

9. Повышенный кларк олова и его геохимических спутников в магматических образованиях.

10. «Зараженность» оловом представителей прочих рудных формаций.

Локальные

1. Незначительно обнаженные эрозией многофазные оловоносные магматические комплексы.

2. Извилистые контактовые поверхности интрузивов и наличие «острых» ответвлений от них: развитие доинтрузивных и дорудных даек.

3. Обширные зоны ороговикования пород и гидротермального преобразования.

4. Обилие локальных рудовмещающих разрывов, особенно косо или прямо секущих складчатые сооружения, а также полей мелкой «штокверковой» трещиноватости пород над интрузивами в их апикалях.

5. Наличие экранирующих оруденение горизонтов.

6. Турмалинизация, окварцевание, хлоритизация, флюоритизация, сканирование, сульфидизация пород.

7. Наличие прямых и косвенных индикаторов остывания интрузивов на небольших глубинах — до 1—3 км.

8. Преобладание какой-нибудь одной оловорудной формации.

9. Неглубокий эрозионный срез магматических тел и (или) зон ороговикования.

Оловоносные территории СССР и их перспективы

Верхояно-Чукотская провинция по геологическим и металлогеническим чертам разделяется на Яно-Колымскую, Чукотскую и Охотско-Чукотскую подпровинции, из которых наиболее детально изучена и опоискована первая. В ней крайне широко представлены месторождения и

рудопроявления наиболее промышленно важных третьей и четвертой формаций. Существенный прирост запасов олова вероятен в определенных оловоносных зонах за счет доразведки выявленных месторождений и обнаружения новых, особенно в Полоусной зоне, включая всю Приморскую низменность, и около Колымского и Охотского срединных массивов. Многие оловоносные узлы, поля и месторождения верховьев рек Колыма и Индигирка требуют ревизии, а отдельные месторождения — разбуривания глубоких горизонтов; не исключено обнаружение новых промышленных узлов и полей, в частности около Охотско-Чукотского интрузивно-эффузивного пояса.

Чукотская подпровинция изучена хуже предыдущей; в ней преобладают представители касситерит-кварцевой формации. Возможности обнаружения новых крупных объектов этой формации имеются главным образом на восточном фланге Амгуэмской металлогенической зоны, а также в обширных Куйвиев-Горгычанской и Ичаткинских зонах, причем в последних очень вероятны и месторождения четвертой формации.

Охотско-Чукотская подпровинция площадью 600 тыс. км², совпадающая с одноименным меловым интрузивно-эффузивным поясом, изучена в отношении олова недостаточно. Здесь наиболее вероятны месторождения четвертой, пятой и шестой формаций. Общая шлиховая «зараженность» подпровинции и имеющиеся месторождения позволяют высоко оценить ее потенциальные ресурсы. Особый интерес представляют площади распространения мелких гранит-порфировых и субвулканических тел кислого состава, находящихся там, где вулканогенные покровы значительно эродированы. Не исключено открытие в меловых вулканитах промышленных месторождений касситерит-риолитовой формации. Требуется детальное изучение оловоносности различных сульфидных проявлений.

Заслуживает внимания оловоносность Уяндинско-Ясачнинского интрузивно-эффузивного пояса.

Сихотэ-Алинская провинция в силу большой «закрытости» изучена и опоскована хуже предыдущей. Большинство месторождений, в том числе все крупные, принадлежат к четвертой формации; нередки и касситерит-сульфидные (галенит-сфалеритовые). Все они сосредоточены в Восточной Сихотэ-Алинской и Прибрежной металлогенических зонах.

Касситерит-турмалин-кварцевые и касситерит-хлорит-кварцевые месторождения с сульфидами или без них характерны для Мяо-Чанской и Хингано-Олоной зон; своеобразные апоскарновые месторождения с флюоритом палеозойского возраста развиты в Ханкайском срединном массиве.

Дальнейшие поисковые работы приведут к открытию новых месторождений упомянутых формаций в перечисленных зонах. Особо интересна северная часть провинции, в частности район к северу и северо-востоку от Мяо-Чанской зоны вплоть до р. Аян. Дальнейшего детального опоскования заслуживают Восточная и Западная Сихотэ-Алинские интрузивно-эффузивные зоны, а также аналогичные зоны на Буреинском срединном массиве. В Буреинском и Ханкайском массивах (в палеозойских карбонатных и вулканогенных толщах) не исключены стратиформные оловоносные колчеданные месторождения типа тасманских.

При определении направления детальных поисков необходимо учитывать возможность контроля оруденения широтными, поперечными складчато-сооружению, скрытыми разрывами фундамента.

Монголо-Охотская провинция из-за значительной «закрытости» опоскована недостаточно. В Центральной Восточно-Забайкальской металлогенической зоне вероятны еще крупные, особенно штокверковые, месторождения третьей и четвертой формаций. Детального обследования заслуживает северо-восточное продолжение этой зоны, вплоть до

Охотского моря. В Становой складчатой зоне вероятны месторождения, характерные и для Восточного Забайкалья, и сульфидные оловосодержащие залежи. При оловопоисковых работах в Восточном Забайкалье следует учитывать наличие сводово-глыбовых поднятий.

Западно-Забайкальский район вряд ли окажется промышленно значимым.

Среднеазиатская провинция изучена в отношении олова недостаточно, но и на основании имеющейся информации видно, что экстенсивность и особенно интенсивность оловянного оруденения в ней невелики. Герцинская (возможно, частично мезозойская) минерализация провинции принадлежит к касситерит-скарновой, касситерит-пегматитовой и изредка к касситерит-кварцевой, богатой железистыми силикатами и сульфидами, формациям; месторождения иногда олово-вольфрамовые.

Наиболее перспективны Сарыджасская (Южно-Тяньшаньская) оловоносная зона и Памирская; в них возможны месторождения всех формаций, но основные перспективы связаны с обнаружением месторождений, аналогичных Уш-Кошканскому и Трудовому, хотя и с относительно низкими концентрациями в них олова.

Оруденение в Южно-Тяньшаньской зоне контролируется продольными и поперечными (антитяньшаньскими) магмо- и рудовыводящими разрывами, что следует учитывать при поисках олова. Такие месторождения возможны на западном фланге Сарыджасской зоны (Северный Таджикистан) и не исключены в Узбекистане, хотя, видимо, здесь все же будут преобладать оловорудные скарновые образования с вольфрамом, висмутом и др.

Казахстан характеризуется довольно широким распространением оловянного оруденения, но в основном это мелкие месторождения и рудопроявления, принадлежащие к касситерит-кварцевой (включая грейзены) и касситерит-скарновой формациям.

В регионе отчетливо обособляются Калба-Нарымский и Центрально-Казахстанский районы; в первом распространены месторождения и рудопроявления касситерит-пегматитовой и касситерит-кварцевой формаций, а во втором — рудопроявления касситерит-пегматитовой и касситерит-кварцевой формаций, реже касситерит-скарновой.

Перспективы Калба-Нарымского района (зоны) невелики; они несколько возрастают в связи с обнаружением на западе его возможно юрского оруденения (Юбилейный Октябрь), принадлежащего к касситерит-турмалин-кварцевым образованиям четвертой формации.

В Центральном Казахстане наиболее интересным является Восточно-Каибский район, где установлено более двадцати рудопоявлений касситерит-кварцевой и касситерит-скарновой (узел Бие) формаций; в рудопоявлениях обеих формаций обычны вольфрамит и сульфиды. В Северо-Хантауском узле наиболее перспективна флюорит-полиметаллическая минерализация с касситеритом, приуроченная к девонской осадочно-вулканогенной толще. Надежда на выявление промышленных месторождений олова возлагается и на Южный Казахстан, где обнаружено перспективное Карагайлы-Актасское месторождение.

В целом потенциальные возможности Казахстана по олову, вероятно, близки к Средне-Азиатской провинции.

Возможности Кавказа, Байкальской горной страны, Канино-Тиманской и Таймырской областей, Енисейского края в отношении олова ограничены, хотя здесь и не исключается обнаружение оловосодержащих полиметаллических, медных и пирротиновых залежей. Сказанное частично относится и к Алтае-Саянской области.

Украинский и Балтийский кристаллические щиты и покров Русской платформы требуют дальнейшего опловоискования, но рассчитывать здесь на выявление крупных коренных и россыпных объектов вряд ли следует.

Возможно открытие новых протерозойских месторождений апоскарнового типа на Балтийском щите, но, видимо, небольших, с трудно обогащаемыми и с небогатыми рудами.

Эоценовая оловоносность Корякского нагорья не сходна с миоценовой оловоносностью юга Боливии; она более похожа на оловоносность Японии и Южного Приморья СССР.

Перед геологами-поисковиками в настоящее время стоят неотложные задачи. В первую очередь они сводятся к необходимости увеличения минерального сырья около оловодобывающих предприятий. Здесь требуются дальнейшие съемочные (структурные) и поисковые работы с применением максимально возможных буровых скважин для изучения глубоких горизонтов и флангов месторождений и обнаружения «слепых» месторождений.

Требуется усилить поиски и разведку аллювиальных и прочих россыпей, в том числе погребенных и шtrandовых, помня, что они формируются не только за счет пегматитовых, грейзеновых, кварцевых и полевошпатовых месторождений, а и за счет касситерит-кварцевых, богатых железистыми силикатами и сульфидами, и даже касситерит-сульфидных. Дальнейших тщательных поисков заслуживают россыпи, возможно погребенные в межгорных впадинах.

Рекомендуется обратить внимание на поиски новых типов оловорудных месторождений, олово- и танталоносных апогранитов, стратиформных колчеданных и свинцово-цинковых оловоносных залежей типа тасманских и Сулливана (Канада), а также месторождений, аналогичных Ласт Ривер на Аляске. Нельзя упускать из вида месторождения касситерит-риолитовой формации, некоторые из которых могут оказаться промышленными объектами, сопровождаемыми россыпями.

При оценке перспектив оловоносных площадей и при отдаче предпочтений крупным объектам следует все же помнить и о мелких месторождениях с легкообогатимыми и богатыми рудами, которые с успехом могут разрабатываться без больших капитальных затрат.

Необходимо детальное изучение в широком аспекте геохимии олова, а также структур рудных полей, особенно крупных.

В. К. Денисенко

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМА

По запасам вольфрама СССР занимает первое место в мире. Имеющиеся разведанные ресурсы в настоящее время полностью удовлетворяют спрос промышленности на данный вид сырья. Однако постоянно растущие потребности обуславливают необходимость увеличения производства вольфрама к 2000 г. в 5 раз (по данным Госплана СССР) по сравнению с 1970 г. Выявленные запасы и тенденции их прироста оказываются недостаточными для обеспечения планируемого потребления вольфрама в перспективе. Поэтому необходимо разработать критерии прогноза и оценки перспектив поисков вольфрама на территории СССР и установить главные промышленные типы вольфрамового оруденения.

Основные вольфраморудные формации и промышленные типы месторождений

В основе выделения рудных формаций лежит стремление к обособлению устойчивых типов месторождений, повторяющихся в различных регионах. В соответствии с этим, понимая рудную формацию как устой-

чивый закономерный набор однотипных минеральных парагенезисов, связанных общей структурой, можно выделить несколько формационных типов вольфрамовых месторождений (табл. 1).

Таблица 1

Классификация вольфрамородных формаций

Рудные формации и их минеральные типы	Примеры месторождений
<p>I. <i>Вольфрамоносных скарнов</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шеелит-магнетитовый 2. Шеелит-сульфидный 	<p>Пороховское (Урал), Белорецкое (Горный Алтай), Угатское, Лянгар (Средняя Азия)</p>
<p>II. <i>Вольфрамово-силикатно-кварцевая</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вольфрамит-кварцевый 2. Шеелит-кварц-полевошпатовый 3. Вольфрамоносных грейзенов 	<p>Акчатау, Байназар (Центральный Казахстан), Молодежное, Куналейское (Забайкалье), Светлое, Грейзеновое (Чукотка), Тигриное (Приморье), Элисуйское (Памир)</p>
<p>III. <i>Вольфрамово-железисто-силикатная</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шеелит-хлорито-турмалиновый 2. Вольфрамит-колчеданно-сульфидный 	<p>Фестивальное, Перевальное (Дальний Восток), Начальное (СВ), Большевицское, Чердооякское (Калба), Букука, Белуха (Восточное Забайкалье)</p>
<p>IV. <i>Вольфрамово-сульфо-сульфидная</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гюбнерит-сульфо-сульфидный 2. Шеелит-полиметаллический 	<p>Холтасон, Бом-Горхон (Забайкалье), Хукамарани (Боливия), Тахшан, Квеймешан (Китай), Икуно-Акенобе (Япония)</p>
<p>V. <i>Вольфрамово-антимонито-халцедоновая</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вольфрамоносных риолитов 2. Ферберит-антимонит-халцедоновый 	<p>Барун-Шивеинское, Ново-Ивановское (Забайкалье), р. Риони (Кавказ), Хилгров (Австралия), Усин, Лендзиси (Китай), Йеллоу Пайн (США)</p>
<p>VI. <i>Вольфрамово-сульфидно-скарноидная</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шеелит-сульфидно-кварцитовый 2. Шеелит-сланцевый 	<p>Олимпиадинское (Енисейский край), Маганат (Кузнецкое Алатау), реки Зея, Н. Джилinda (Джугджур), Артулукское (Горный Алтай)</p>
<p>VII. <i>Вольфрамово-марганцевая</i></p>	<p>Голконда (Невада, США), Тосор, Аксай в Средней Азии, Западное Забайкалье, Центральная Монголия</p>
<p>VIII. <i>Вольфрамово-галогенная</i></p>	<p>Озеро Серлз (Калифорния)</p>

Предложенная классификация касается лишь простых «мономорфационных» месторождений, образованных набором однотипных минеральных парагенезисов, повторяющихся в одной и той же последовательности на различных месторождениях. Однако многие крупные промышленные месторождения вольфрама обнаруживают в составе и строении

черты одновременно двух-трех различных формаций. Такие месторождения могут быть отнесены к «полиформационным».

Основу сырьевой базы вольфрама составляют именно полиформационные месторождения. Так, на их долю приходится около 90% запасов WO_3 среди учтенных 50 наиболее значительных вольфрамовых месторождений СССР.

Проведенный сравнительный анализ позволяет подразделить вольфрамовые месторождения по степени промышленной значимости на три группы.

1. Крупные и уникальные по запасам месторождения. К ним относятся большинство полиформационных месторождений, для которых характерно наличие нескольких продуктивных этапов и, как следствие этого, значительные запасы и комплексность руд. Наибольшим распространением пользуются скарново-грейзеновые, грейзеново-оксеталитовые, грейзеново-пропилитовые, грейзеново-оксеталитово-пропилитовые, скарново-грейзеново-пропилитовые месторождения (для краткости месторождения названы по типу рудоносных метасоматических, а не рудных формаций). Известны случаи образования таких месторождений путем совмещения как родственных вольфраморудных формаций, так и «чужеродных», обычно вольфраморудных и молибденоворудных, вольфраморудных и оловорудных.

Крупные промышленные концентрации руд образуют также месторождения, обладающие переходными чертами строения двух вольфраморудных формаций.

2. Средние и мелкие по запасам месторождения. К этой категории относятся простые моноформационные месторождения. Наибольшим распространением среди них пользуются грейзеновые месторождения, известные практически во всех вольфраморудных провинциях. Несмотря на относительно небольшие запасы (вследствие ограниченного вертикального размаха оруденения, обычно не превышающего 200—300 м), месторождения имеют важное промышленное значение благодаря преобладанию в рудах вольфрамита (а не шеелита), а также нередко комплексному характеру руд.

Несомненный промышленный интерес представляют вольфрамово-сульфидные месторождения колчеданно-сульфидной и сульфо-сульфидной формаций, пользующиеся сравнительно ограниченным распространением по сравнению с грейзеновыми, но нередко превосходящие их по запасам руд. Следует иметь в виду также возможность наличия вольфрамового оруденения в полиметаллических месторождениях (по аналогии с олово-полиметаллическими). Признаки вольфрамовой минерализации в таких месторождениях известны.

3. Месторождения невыясненной промышленной значимости. К ним относятся вольфрамовые проявления вольфрамово-сульфидно-скарноидной, вольфрамово-марганцевой, а также вольфрамово-антимонитово-халцедоновой рудных формаций. Месторождения последней формации за рубежом (в Японии, Китае, США, Австралии) с успехом эксплуатируются. Стратиформный характер оруденения первых двух из названных формаций дает основание надеяться на возможность выявления в них значительных концентраций руд. При поисках таких месторождений следует иметь в виду, что они развиты в районах, ранее не относившихся к вольфраморудным провинциям.

Принципы и критерии прогнозной оценки территорий на вольфрамовое оруденение

При перспективной оценке территорий следует иметь в виду общность для различных формационных типов вольфрамового оруденения региональных критериев прогнозирования и специфичность локальных.

Отметим главнейшие рудоконтролирующие факторы (в последовательности их анализа).

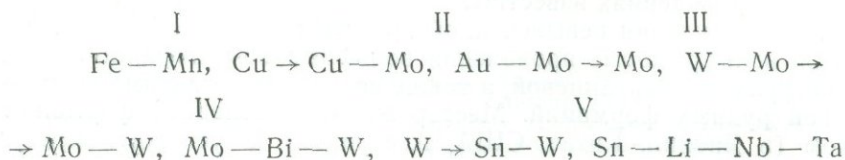
1. Вольфрамовые месторождения характерны для складчатых областей эвгеосинклинального типа развития с распространением в различной степени метаморфизованных отложений стадии заложения прогибов: кремнисто-спилито-диабазовой, андезит-кератофировой, известково-кремнисто-андезитовой, вулканогенно-карбонатно-терригенной формаций (зоны Урала, Центрального Казахстана, Приморья, Горного Алтая, Забайкалья, Кавказа) или карбонатно-терригенных толщ, сформировавшихся на поздних этапах эволюции таких трогов (Средняя Азия). Вольфрамовая минерализация проявляется также в древних щитах, срединных массивах и приурочивается к зонам активизации их центральных частей и пограничным частям древних структур с более молодыми эвгеосинклинальными трогами (Колымский «массив»).

2. Размещение разнотипной минерализации и магматизма контролируется разломами трансформного типа, представляющими собой долгоживущие разломы фундамента, которые располагаются независимо по отношению к структурно-формационным зонам.

3. Характерна также приуроченность минерализации к кольцевым магмоконтролирующим структурам. Выделяется несколько порядков таких структур — от масштабов, сопоставимых с размером рудных поясов и зон, до масштабов рудных узлов и полей. Для вольфрамового оруденения наиболее благоприятны структуры со средним уровнем эрозионного среза.

4. В ареалах проявления гранитоидного магматизма рудоносными оказываются граниты, формированию которых предшествовали: а) длительный (в большинстве случаев свыше 80—100 млн. лет) постгеосинклинальный период развития вмещающего их блока пород, характеризовавшийся тектоническим режимом устойчивого воздымания; б) проявление не менее двух-трех более ранних посторогенных интрузивных комплексов.

5. Для прогнозирования вольфрамовой минерализации определенного типа важное значение имеет наблюдающаяся эволюционная направленность в развитии оруденения, обусловленная эволюцией посторогенного магматизма. В большинстве случаев наблюдается следующий эволюционный ряд эндогенного оруденения, последовательность проявления элементов в котором (в первом приближении) отвечает возрастающему значению их кларков-концентраций в породах базальтоидного состава (римскими цифрами показано количество циклов магматизма):



В указанном ряду от I к V циклу параллельно со сменой рудных элементов наблюдается изменение формационного типа магматических пород от диорит-гранодиоритовой к гранодиорит-гранитовой и далее к аляскитовой формации.

Оруденение первых циклов, развивающихся с минимальным возрастным «отрывом» от геосинклинальной стадии, обнаруживает черты унаследованности металлогении геосинклинального этапа. В частности, характерно широкое распространение в рудах сульфидов Fe, Cu, Pb + Zn (месторождения пропилитовой и оксепалитовой рудоносных формаций). Магматические образования представлены эффузивными и субинтрузивными фациями с отчетливыми признаками контаминации и гибризма.

Со временем зависимость оруденения от металлогении геосинклинального этапа нивелируется, и для заключительных циклов характерна ассоциация рудных элементов, свойственных зонам миогеосинклинального режима развития. Магматизм представлен преимущественно интрузивными фациями.

6. Как следствие, из предыдущей закономерности вытекает необходимость выделения при прогнозной оценке территорий блоков с различным количеством циклов проявления магматизма, которые характеризуются различными типами и масштабами оруденения. Выделение блоков, естественно, должно проводиться с учетом других геологических особенностей и геофизических данных о строении коры. В пределах таких блоков максимально перспективными оказываются районы, в которых пространственно совмещены проявления всех или нескольких циклов гранитоидного магматизма, известных для данного блока.

Рассмотренные региональные факторы контроля позволяют наметить рудные зоны и районы, перспективные на обнаружение в них вольфрамового оруденения того или иного формационного типа. При дальнейшей оценке таких площадей необходимо руководствоваться специфическим для различных типов оруденения «набором» критериев прогноза. Такие критерии рассмотрены в табл. 2 на примере грейзеновых вольфрамовых месторождений (Д. В. Рундквист, В. К. Денисенко, 1970). Кроме того, здесь показано различное прогнозное значение одних и тех же рудоконтролирующих факторов при исследованиях различного масштаба.

Касаясь вопроса о главных промышленных типах вольфрамового оруденения, следует отметить, что существующее соотношение вольфрамоворудных формаций по их значению в общем балансе запасов со временем будет, по-видимому, изменяться в сторону увеличения роли крупных по запасам штокверковых шеелитовых месторождений при сохранении важного значения скарново-грейзеновых месторождений вольфрама. Следует также иметь в виду возможность открытия значительных по запасам месторождений вольфрамово-сульфо-сульфидной формации.

В свете обсуждаемого вопроса необходимо особо подчеркнуть важность разработки поисковых и оценочных критериев крупных и уникальных месторождений, на выявлении которых должно быть в первую очередь сосредоточено внимание при проведении поисково-съёмочных работ. Намечаются следующие критерии отличия крупных месторождений.

1. Наличие нескольких разновременных этапов в истории формирования месторождений, каждый из которых характеризуется полным послемагматическим циклом эволюции растворов, спецификой структурного плана развития, морфологии рудных тел и их внутреннего строения и другими особенностями. Как следствие этого, устанавливается многостадийный характер минералоотложения, разнообразие структур и текстур руд.

2. Наличие минералого-геохимических особенностей (включая типоморфизм минералов и элементы-примеси), свойственных месторождениям различных генетических типов и рудных формаций.

3. Интенсивное проявление процессов метасоматического замещения в рудных телах, во многом обусловленное телескопированием разновременной минерализации.

4. Отсутствие четко выраженной зональности оруденения или «обратный» (по сравнению с простыми месторождениями) характер ее проявления, обусловленный различными факторами контроля размещения разнотипной минерализации.

5. Характерность внутрирудного магматизма, разделяющего разновременные этапы минералообразования. Величина временного «разрыва» между этапами составляет 10—15 млн. лет, когда месторождение представляет собой парагенезис рудных формаций, и десятки (иногда

Основные рудоконтролирующие факторы и их различное значение при разномасштабном прогнозировании (на примере грейзеновой вольфрамово-силикатно-кварцевой формации)

Рудоконтролирующие факторы	Масштаб прогнозных исследований (и прогнозируемых площадей)		
	Мелкомасштабные (металлогенная зона)	Среднемасштабные (рудный район)	Крупномасштабные (рудное поле)
Магматический	Многократное проявление разновозрастного гранитоидного магматизма с широким распространением посторогенных гранитов	Ареалы распространения полихронных, многофазных интрузивных массивов с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами поздних фаз	Гранитные штоки с явлениями постмагматических изменений, зонами «штокшайдеров», ритмично-полосчатыми гранитами, дайками с признаками метасоматического замещения и реоморфизма
Структурный	Обрамления срединных массивов, внутренние геоантиклинальные поднятия, зоны активизации областей завершённой складчатости, долгоживущие разломы трансформного типа	Региональные тектонические нарушения (разделяющие структурно-формационные зоны, разнотипные блоки пород и т. п.), трассируемые поясами даек, гидротермально изменёнными породами, штоками гранитов, и участки их пересечения с различными поперечными структурами	Нарушения сдвигового, взбросо-сдвигового типа и оперяющие их трещины II, III порядка, участки их пересечения с приконтактовыми зонами гранитных массивов, зонами ороговикования, поясами даек; места «перезимов» гранитных массивов, пологих склонов, развития апофиз и сателлитов, погружения вдоль осевых магмоконтролирующих структур
Литологический	В различной степени метаморфизованные породы кремнисто-спилито-диабазовой, андезито-кератофировой, известково-кремнистой, вулканогенно-терригенной формаций	Зоны частого чередования контрастных по химическому составу пород — известняков и сланцев, основных эффузивов и филлитов, амфиболитов, углисто-глинистых сланцев и др.	Ороговикованные и гидротермально изменённые породы, известняки и основные алюмосиликатные породы экзоконтактовых зон интрузий, останцы пород кровли различного состава в гранитных массивах
Геохимический	Зоны распространения вмещающих пород и гранитов с повышенными значениями региональных кларков-концентраций W, Mo, Sn, Be и др.	Шлиховые и метало-метрические ореолы W, Mo, B, Be, F, Sn и др., аномальные кларки-концентрации Be, Zr, Y, K, Mo, Li в водах с положительными связями между Zr — Be — Y	Минералогическая и геохимическая специализация гранитов и коррелятивные связи элементов-примесей в них и отдельных минералах; наличие зональных ореолов рассеяния W, Mo, Bi, Be, Pb, Zn, Sb
Эрозионного среза	Сохранение в мульдах, прогибах осадочных и вулканических пород, близких по возрасту к рудоносным гранитам; наличие разобщённых выходов пород фундамента	Отсутствие редкометаллоносных пегматитов, зон щелочных метасоматитов с редкоземельной минерализацией; ассоциация W и Mo с проявлениями Cu, Pb — Zn, Au; развитие древних террас, кор выветривания	Гранитные массивы, вскрытые в апикальных частях, с признаками формирования на малых глубинах; наличие кольцевых даек с «останцами» вулканических покровов

(сотни) миллионов лет, когда месторождение представляет собой ассоциацию формаций.

Из региональных факторов контроля крупных месторождений могут быть отмечены следующие:

а) приуроченность к долгоживущим тектоническим нарушениям трансформного типа;

б) локализация в блоках с длительным неоднократным проявлением магматической активности.

Прогнозная оценка территории СССР на вольфрамовое оруденение

На основании анализа особенностей проявления вольфрамового оруденения и металлогенической изученности территории СССР могут быть выделены два типа регионов, различных в отношении их перспектив на вольфрам.

1. Регионы, вольфрамоносность которых в целом установлена. Их перспективы могут быть расширены за счет выявления новых месторождений, основных для данного региона промышленных типов, и переоценки известных, но не разведанных на глубину рудопроявлений. В последнем случае необходимо учитывать критерии отличия крупных по запасам месторождений.

В Казахстане, Горном Алтае, на Урале главное внимание должно быть сосредоточено на выявлении и переоценке кварцево-жильно-грейзеновых и шеелитоносных штокверковых месторождений; на Северном Кавказе, в Средней Азии, Приморье — скарново-грейзеновых и грейзеновых; в Забайкальской и Верхояно-Чукотской провинциях существенный прирост запасов вероятен за счет выявления месторождений относительно «новых» формационных типов — вольфрамово-железисто-силикатного, вольфрамово-сульфо-сульфидного и вольфрамово-антимонито-халцедонового.

2. Регионы с известными проявлениями или признаками вольфрамовой минерализации, но не оцененные в отношении их общей вольфрамоносности. К ним могут быть отнесены Полярный и Южный Урал, Карело-Кольский регион, Енисейский кряж, Кавказ, Байкальская горная страна, Саяны, Украинский щит, Таймыр, Тиман, Анабарский щит. Выяснение перспектив вольфрамоносности указанных территорий связано с необходимостью проведения специализированных поисково-съёмочных работ, вследствие чего они могут рассматриваться как резерв второй очереди по сравнению с вышеуказанными регионами. Поиски должны быть в первую очередь ориентированы на выявление вольфрамовых месторождений стратиформного типа (вольфрамово-сульфидно-скарноидной и других формаций), «нестандартных» по геологическим условиям проявления и комплексу сопутствующего оруденения. Не исключена также возможность обнаружения месторождений, связанных с проявлением позднего магматизма в блоках с эвгеосинклинальным режимом геосинклинального осадконакопления (вольфрамово-силикатно-кварцевой, вольфрамово-железисто-силикатной, вольфрамово-антимонито-халцедоновой формаций).

В. И. Бергер, Н. С. Мудрогина, В. Г. Кузьмин

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУРЬМЫ И РТУТИ

Классификация ртутных и сурьмяных рудных формаций

Перспективная прогнозная оценка территории СССР на ртуть и сурьму проведена с использованием новых данных, представленных по отдельным регионам большим коллективом геологов ВСЕГЕИ и территориальных геологических организаций.

Потребность конкретизации прогнозирования, перехода к количественным оценкам уже на стадии регионального прогноза определили необходимость углубления, детализации формационного анализа, разработки дополнительных критериев классификации ртутных и сурьмяных месторождений. Учет этих дополнительных признаков потребовал некоторой трансформации существующих классификационных схем месторождений Sb и Hg, широко применяемых в геологической практике (Е. Е. Захарова, В. А. Кузнецова, В. Э. Пояркова, В. И. Смирнова, В. П. Федорчука и др.).

В качестве основы для выделения рудных формаций применен вещественно-структурный подход, развиваемый во ВСЕГЕИ и предусматривающий индивидуализацию рудных формаций как устойчивых парагенезисов руд и горных пород, связанных общей структурой — зональностью (Д. В. Рундквист, 1971). Представляется рациональным выделение рудных формаций ртутных и сурьмяных месторождений как парагенезисов руд, выраженных через типоморфные рудные и жильные минералы, и гидротермально измененных пород, принадлежащих соответствующим формациям метасоматитов (аргиллизитовой, оксеталитовой по Ю. В. Казизыну) или выраженных через традиционно устанавливаемый тип изменений (джаспероидизация, лиственитизация, опализация и др.). Некоторые группы месторождений обнаруживают устойчивые связи с осадочными терригенными и карбонатными формациями, также введенными в название рудных формаций (группа I). С целью согласования с формационными классификациями других полезных ископаемых, разрабатываемыми во ВСЕГЕИ по единому принципу, в названиях выделенных рудных формаций введены главные промышленные компоненты руд.

В схеме классификации, предложенной В. И. Бергером, выделено 11 формаций простых и комплексных ртутных и сурьмяных месторождений и 4 группы формаций ртути- и сурьмосодержащих месторождений других металлов. На основании установленного фактического распределения сурьмяные и ртутные рудные формации объединены в три группы (по типическим тектоно-магматическим обстановкам, различающимся в первую очередь по формам и степени проявления магматизма): 1) амагматических демисионных зон, 2) зон полихронного гранитоидного магматизма и метаморфизма, 3) зон полифациального субаэрального вулканизма. Такая группировка позволяет перейти от диагностики формаций по вещественно-структурным особенностям (диагностическим признакам) к выделению в региональном масштабе и оценке рудоносных площадей, перспективных на оруденение конкретных формационных типов.

Экономическая значимость главных групп рудных формаций в сопоставлении с зарубежными странами, для которых учтены запасы и суммарная добыча, иллюстрируется следующими цифрами (округленные проценты): первая группа — ртуть СССР 60%/зарубежные страны 60%, сурьма 50%/30%; вторая группа — сурьма 40%/40%, третья группа — ртуть 40%/40%, сурьма 3%/30%. Основные различия касаются сурьмяных месторождений первой группы, которые играют в нашей стране относительно большую роль, и сурьмяных месторождений третьей группы (вулканогенных зон), которые слабо освоены в СССР. По данным прогнозной оценки, в дальнейшем относительно возрастет роль ртутных формаций третьей группы и сурьмяных — второй группы. Характеристика главных промышленных рудных формаций, составляющих более 90% в мировом сырьевом балансе сурьмы и ртути, приведена в табл. 1, 2, 3.

Критерии прогнозирования

1. Критерии прогноза по формациям указаны в соответствующих таблицах. При выделении перспективных площадей и их оценке учитываются два типа критериев — положительные (универсальные и част-

ные) и отрицательные (альтернативные и корректирующие). Оценка критериев сделана по десятибальной шкале (+5)—(—5). Статистически-вероятностная оценка их в большинстве случаев невозможна из-за малого количества эталонов. Последовательность применения положительных критериев определяется их иерархической соподчиненностью и значимостью. Отрицательные критерии позволяют «сепарировать» прогнозные территории, доводя их площадь до оптимальной, и вносят поправку в количественную оценку путем применения корректирующих коэффициентов.

Кроме указанных в таблицах положительных критериев, для всех рудных формаций при прогнозировании используется критерий региональных Sb и Hg геохимических аномалий, связанных с системами глубинных разломов.

2. Анализ данных по ртутным и сурьмяным месторождениям амагматических демисионных зон (первая группа формаций, табл. 1) показал, что они относятся к типу стратиформных эпигенетических месторождений. Они сформированы в период частной инверсии или после нее до главной складчатости, характеризуются стратифицированным распределением оруденения, связью его с межформационными или внутриформационными несогласиями и приуроченными к ним в карбонатных породах зонами палеокарста и брекчий обрушения. Для этих формаций особое значение имеют факторы сохранения месторождений, учитываемые нами при прогнозировании. Указанный подход к сурьмяным и ртутным рудным формациям первой группы позволит, видимо, по-новому рассмотреть перспективы такой известной рудной провинции, как, например, Тянь-Шань.

3. Особое значение приобретает в последние годы золото-антимонитовая кварцево-оксеталитовая формация — один из важнейших промышленных типов Sb оруденения (табл. 2). Она является крайним членом ряда золото-сульфидно-кварцевых формаций, в тесной связи с которыми проявляется в пределах золоторудных поясов. Оруденение этой формации характерно для зон полихронного гранитоидного магматизма и ассоциирует преимущественно с добатолитовыми диорит-гранодиоритовыми интрузиями, проявляясь в структурах разного возраста от докембрия до мезозоя. Отмечено разубоживание (вплоть до уничтожения) оруденения этого типа в зонах поздне- и посторогенного гранитоидного магматизма.

4. Наибольшее практическое значение в зонах субаэрального вулканизма имеют ртутные месторождения формаций VI и VII (табл. 3), приуроченные к карбонатным породам и лиственитизированным серпентинитам в основании вулканитов. Сочетание полнодифференцированных вулканических серий с карбонатными и терригенно-карбонатными формациями складчатого комплекса или массивами серпентинитов, при минимальном развитии или отсутствии гранитоидов, следует рассматривать как один из важнейших критериев прогнозирования площадей, перспективных на высокопродуктивные подпокровные ртутные месторождения.

5. Общими факторами, определяющими региональное разделение тектоноблоков с существенно ртутной или сурьмяной специализацией, являются: для ртути — преимущественно демисионный тип рудоносных структур с низкой степенью метаморфизма и гранитообразования; для сурьмы (кроме ртутно-сурьмяной формации — I) — проявление зеленосланцевого (или более высокого) метаморфизма и гранитообразования при различном типе региональных рудоносных структур и высокой степени «континентальности» коры.

Сурьмяные и ртутные рудные формации амагматических зон (первая группа)

Группы признаков	Признаки	Ртутные и сурьмяные рудные формации			
		I. Ртутно-флюорит-сурьмяная (киноварно-флюорит-антимонитовая) джаспероидная карбонатная	II. Ртутная (киноварная) карбонатная	III. Ртутная (киноварная) аргиллизитовая терригенная	
Диагностические	Главные и сопутствующие компоненты руд	Sb, Hg, F (As, Ba, Zn, Pb)	Hg, As (Sb, F, Ba, Zn, Pb)	Hg (Sb, As)	
	Типоморфные минеральные ассоциации	рудные	Антимонит, киноварь, реалгар, аурипигмент, пирит (иногда гематит, блеклые руды, джемсонит, арсенопирит)	Киноварь, реалгар, аурипигмент, пирит (иногда антимонит, сфалерит)	Киноварь, пирит, арсенопирит (иногда антимонит)
		нерудные	Кварц, карбонаты, флюорит, барит, битумы	Доломит, кальцит, барит (иногда кварц, флюорит, битумы)	Кварц, диксит, барит, кальцит (иногда цеолиты, битумы)
	Типы гидротермальных изменений (преимущественно прерудных)	Джаспероидизация, серицитизация, карбонатизация Оруденение преимущественно концентрируется в гидротермалитах, иногда выходя за их пределы	Доломитизация, кальцитизация, подчиненное окварцевание	Аргиллизация, окварцевание, пиритизация	
	Вертикальная зональность оруденения (в общем виде)	Pb, Zn, Sb → Sb, Hg → As (Дж, Бу, Ант) (Кин, Ант) (Ре, Аур) Вектор зональности ориентирован нормально к напластованию	Zn, Sb, Hg → Hg (Sb, As) → As (Сф, Ант, Кин) (Кин, Ант, Ре) (Ре, Аур)	?	
	Структурно-морфологические типы рудных тел, их размеры	Пластовые и линзовидные тела в брекчиях обрушения, полостях межпластового отслоения; трубообразные тела, гнезда, рудные карманы, неправильные сложные жилородные тела в палеокарстовых пустотах. Согласные пластообразные и лентообразные залежи вкрапленных, прожилково-вкрапленных и прожилковых руд в благоприятных породах; реде секущие жилы			
	Масштабы минерализации и средние содержания главных рудных компонентов	Сурьма (2—6%) — средние — очень крупные; ртуть (0,0п — 0,5%) — мелкие и средние (единичное очень крупное)	Ртуть (0,0п%) — мелкие — средние (единичные уникальные)	Ртуть (0п — 3%) — мелкие — крупные (единичные уникальные)	
Примеры месторождений	Хайдаркан, Кадамджай, Джижикрут, Валанги-Дароз, Келяня; Сигуаншань	Сымап, Адыракоу, Гал-Хая (?); Ваншаньская группа месторождений, Идрия	Никитовское, Перевальное, Сахалинское; Альмаден		

Рудоконтролирующие региональные	Положение в региональных структурах разных этапов развития подвижных поясов	Демиссионных		
		Борта и пологие склоны миогеосинклинальных и эпиплатформенных прогибов: с редуцированным проявлением инициального вулканизма, с развитием локальных поднятий (частных инверсий), выраженных межформационными и внутриформационными несогласиями, несущими проявления палеокарста, фрагменты древних кор выветривания и т. д., и определяющими стратифицированное распределение оруденения		Борта и трогии миогеосинклинальных прогибов, авлакогенов
Рудонесные формации	Инверсионных	Антиклинорные зоны и блоки складчатости линейного (или промежуточного) типа, сопровождающейся брахикальными осложнениями, при отсутствии батолитового гранитоидного магматизма и слабом проявлении метаморфизма (не выше зеленосланцевой фации)		
	Орогенных и посторогенных	Области стабилизации со слабой эродированностью, склоны сводово-глыбовых поднятий с интенсивной неравномерной эрозией, развитием пологих надвигов („бронирующих“ рудоносные формации) при отсутствии или незначительном распространении гранитоидов и субаэральных вулканитов, эпизодическом распространении гипабиссальных малых тел щелочных и субщелочных пород		
Латеральная зональность оруденения	Формация	Преимущественно формации прибрежных полузамкнутых мелководных бассейнов, отличающиеся повышенной битуминозностью, сероносностью, магниезальностью и др. Карбонатная или кремнисто-карбонатная в сочетании с терригенно-карбонатной или терригенной	Карбонатная и терригенно-карбонатная	Терригенная сероцветная
	Распределение фаций и мощностей	Фации склонов конседиментационных мульд и поднятий с изменчивостью по разрезу и устойчивостью по простиранию при высоком градиенте мощностей (до десятков метров на 1 км)		
Главные критерии регионального прогнозирования	Положительные	$\begin{matrix} \text{Pb, Zn, Ag} \rightarrow \text{Sb (Hg)} \rightarrow \text{Hg (Sb)} \rightarrow \text{Hg} \\ \leftarrow \text{Ba, F, As} \end{matrix}$		$\begin{matrix} \text{Pb, Zn} \rightarrow \text{Hg} \\ \leftarrow \text{As, Sb} \rightarrow \end{matrix}$
	Отрицательные	1. Распространение рудоносных или потенциально-рудоносных формаций осадочных пород определенного возрастного интервала в демиссионной структуре 2. Региональная ртутная или сурьмяная геохимическая аномалия 3. Наличие межформационных (или внутриформационных?) несогласий, отражающих частную инверсию 4. Площадное распространение дорудного палеокарста в зоне несогласия 5. Умеренный эрозионный срез рудоносных формаций, фиксируемый сохранением на прогнозируемой площади отложений орогенных и посторогенных наложенных впадин, пострудных „бронирующих“ надвиговых покровов и др.		
Примеры региональных Sb и Hg зон (в скобках возраст рудоносных формаций)	Зеравшано-Гиссарская (S ₂ — C ₁); Сигуаншаньская (D ₃)	Южно-Ферганская (D — C ₁₋₂); Ваншаньская (E ₁₋₂)	Донбасская (C ₂₋₃), Северо-Западный Кавказ (J ₁ — K); Сьерра-Морена (S)	

Сурьмяные рудные формации зон полихронного гранитоидного магматизма и метаморфизма (вторая группа)

Группы признаков	Признаки		Сурьмяные рудные формации		
			IV — золото-сурьмяная (золото-антимонитовая) кварцево-скстелитовая	V — сурьмяно-полиметаллическая (антимонит-сульфосольно-полисульфидная) кварцево-окстелитовая	
Диагностические	Главные и сопутствующие компоненты руд		Sb, Au, As (Pb, Zn)	Sb, Pb, Zn, As (Ag, Sn, W, Hg)	
	Типоморфные минеральные ассоциации	Рудные	Антимонит (бертьерит, гудмундит), золото, пирит, арсенопирит, блеклые руды, сульфоантимониты, галенит, сфалерит	Блеклые руды (в том числе швартцит), буланжерит, джемсонит, галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, антимонит, киноварь, касситерит, станнин, шеелит	
		Нерудные	Кварц, анкерит, сидерит, серицит, хлорит	Кварц, карбонаты, хлорит	
	Типы гидротермальных изменений (преимущественно предрудных)		Окварцевание, серицитизация, сульфидизация (пирит, арсенопирит), альбитизация, реже хлоритизация, турмалинизация	Окварцевание, серицитизация, хлоритизация, биотитизация, турмалинизация	
	Вертикальная зональность и вертикальный размах оруденения		Sb, As, Au → As, Au, Sb Sb/Fe > Sb/Fe Ант, Зол Ант, Берг, Зол, (Арс, Пи, Берг) Арс, Бл и др. В секущих телах > 650 м	Sb (Ag, Pb, Zn) → Pb, Zn, Ag Бл, Дж (Ант, Га, Сф) Га, Сф, Бл Сотни метров — более 1,5 км	
	Структурно-морфологические типы рудных тел, их размеры		Преимущественно согласные и субсогласные тела — пластовые, седловидные жилы, минерализованные зоны смятия; меньше — секущие жилы (часто сложные, ветвящиеся, лестничные). Длина жил от сотен метров до 1 км и более, мощность до 10 м	Преимущественно секущие жилы (обычно сложные, сопровождающиеся апофизами), линзы, тела неправильной формы, системы жил в зонах повышенной трещиноватости штокверки. Длина жил до сотен метров при мощности — первые метры,	
	Масштабы минерализации, средние содержания главных рудных компонентов		Сурьма (5—12% до п0%) — мелкие и средние (единичные крупные и уникальные), золото (до десятков г/т) — мелкие	Сурьма (0,0п—1—5%) — мелкие, серебро (до сотен г/т) — от мелких до очень крупных, свинец, цинк (до 10% и более) — до крупных	
	Примеры месторождений		Раздольнинское, Тургайское, Сарылах, Апрелковское, Рарз, Уч-Кадо; Гравелот и др. (хр. Мурчисон), Ля Люсетт, Воси.	Соболиное, Почекуевское, Бугулутер, Пайбулак; Саншайн, Ля Сирена	
	Рудоконтролирующие	Особенности региональных рудоносных структур	Типы структур	Борта трогов — миогеосинклинальных и эвгеосинклинальных (так называемых „зеленокаменных трогов“ докембрия); краевые и центральные поднятия	Борта и пологие склоны миогеосинклинальных прогибов, центральные и краевые поднятия
			Рудовмещающие формации (в том числе — блоков ранней консолидации)	Формации	Терригенные: черносланцевая, флишевая и флишеидная, сероцветная, реже вулканогенно-терригенная Гнейсо-сланцевые комплексы поднятий
Степень метаморфизма		Региональный метаморфизм до зеленосланцевой фации Комплексы поднятий — до амфиболитовой фации		Иногда значительный термальный метаморфизм в контактовом ореоле интрузий гранитоидов	
Инверсионных		Типы структур	Складчатые	Синклиновые зоны интенсивной, часто изоклиальной складчатости, срединные и краевые массивы	Антиклинорные и синклиновые зоны, срединные и краевые массивы
	Разрывные		Продольные, по отношению к складчатым структурам, зоны смятия, рассланцевания, динамометаморфизма, шириной до 10—15 км, отвечающие региональным разломам и определяющие линейное распределение рудных полей	—	

Группы признаков	Признаки		Сурьмяные рудные формации	
			IV — золото-сурьмяная (золото-антимонитовая) кварцево-оксепалитовая	V — сурьмяно-полиметаллическая (антимонит-сульфосольно-полисульфидная) кварцево-оксепалитовая
Особенности региональных рудоносных структур	Инверсионных	Интрузивный магматизм (формации, соотношение с оруденением)	Широко проявлены малые интрузии диорит-гранодиоритовой формации (предрудные); за пределами рудных полей — интрузии „батолитовой“ формации высокоглиноземистых гранитов (отчасти раннеорогенные)	Мало характерен
		Орогенных и посторогенных	Типы структур	Слабо дифференцированные поднятия; области относительной стабилизации
	Магматизм	Интрузивный	Мало характерен	Полихронный гранитоидный магматизм поздне- и посторогенной стадий диорит-лейкогранитовой, лейкогранитовой формаций и др.
		Эффузивный		Фрагменты покровов группы порфировых формаций (андезитовой, липаритовой и др.). Оруденение размещается иногда в вулканитах
рующиеся	Латеральная зональность оруденения		$\begin{matrix} \text{Au, W (Mo)} \rightarrow \text{Au, Pb, Zn (Sb, Bi)} \rightarrow \\ \rightarrow \text{Au, Sb} \\ \leftarrow \text{As, Fe} \rightarrow \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{Sn, W (Pb, Zn)} \rightarrow \text{Pb, Zn (Sb)} \rightarrow \\ \rightarrow \text{Sb (Pb, Zn, Hg)} \\ \text{Pb, Zn, Ag (Sb)} \rightarrow \text{Sb (Pb, Zn, Hg)} \end{matrix}$
Рудоконтроли	Главные критерии регионального прогнозирования	Положительные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Полихронный гранитоидный магматизм и метаморфизм (главным образом инверсионный) 2. Площадная золотоносность (в том числе россыпная) в зонах гранитоидного магматизма инверсионной стадии и (или) зеленсланцевого метаморфизма 3. Неоднородный характер золотоносности с проявлением зональных рядов золоторудных формаций, обособлением ареалов высокопробного золота 4. Интенсивная линейная складчатость и другие особенности структур, указывающие на преобладание деформаций в условиях сжатия 	<ol style="list-style-type: none"> 1. (главным образом орогенный и посторогенный) 2. Распространение редкометалло-полиметаллического, серебряно-полиметаллического оруденения, ассоциированного с поздне- и посторогенными гранитоидами 3. Наличие в разрезе терригенно-карбонатных формаций 4. Интенсивная блоковая тектоника; существенное развитие поперечных межблоковых линейментов
		Отрицательные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поздне- и посторогенный гранитоидный магматизм с ассоциированным редкометальным оруденением 2. Полифаціальный субаэральный вулканизм 3. Интенсивная блоковая тектоника 4. Значительная (> 1,5 км) эродированность рудоносных осадочных и метаморфических образований 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Интенсивный поздне- и посторогенный вулканизм 2. Значительный посторогенный и неотектонический эрозионный срез
	Примеры провинций (в скобках — возраст рудовмещающих осадочных и метаморфических образований)	<p>Яно-Колымская $\left(\frac{T_3, J_{1-2}}{J_3 - K_1}\right)$,</p> <p>Енисейский кряж (PR₂/PR₃),</p> <p>Южно-Африканская (AR₁/AR₃) и др.</p>	<p>Сихотэ-Алинская $\left(\frac{K_1, K_2}{K_2 - Pg}\right)$,</p> <p>Забайкальская $\left(\frac{Є_1, J_{1-2}}{J_3 - K_1}\right)$,</p> <p>Мексиканская (K/K₂ — Pg)</p>	
Возраст гранитоидного магматизма, предшествующего и синхронного оруденению				

Сурьмяные и ртутные рудные формации зон полифациального субаэрального вулканизма (третья группа)

Группы признаков	Признаки	Ртутные и сурьмяные рудные формации					
		VI. Ртутная (метациннабарит-киноварная) халцедон-карбонатно-аргиллизитовая	VII. Ртутная (метациннабарит-киноварная) листвениновая	VIII. Ртутная (метациннабарит-киноварная) опалитовая (вторично-кварцитовая)	IX. Сурьмяная (антимонитовая) халцедон-аргиллизитовая	X. Сурьмяно-вольфрамовая (антимонит-ферберитовая) халцедон-аргиллизитовая	
Диагностические	Главные и сопутствующие компоненты руд	Hg (Sb, As)	Hg (Sb)	Hg (Sb, S)	Sb (As, Ag, Au, Hg)	Sb, W (As, Hg, Au, Ag)	
	Типоморфные минеральные ассоциации	Рудные	Киноварь, метациннабарит, самородная ртуть, пирит, арсенопирит, антимонит, иногда гвадалкацит, оксихлориды ртути	Реальгар, иногда антимонит, миллерит, линнеит	Реальгар, антимонит, сера	Антимонит, арсенопирит, пирит (галенит, сфалерит, киноварь, аргентит, золото, блеклые руды)	Антимонит, ферберит, шеелит, пирит, арсенопирит (золото, киноварь)
		Нерудные	Доломит, сидерит, глинистые минералы, халцедон (кварц, кальцит, селадонит, барит)	Доломит, брейнерит, халцедон, кварц, опал, диккит, барит	Халцедон, опал, кварц, каолинит, диккит, карбонаты, алунит, барит	Халцедон, опал, кварц, диккит, карбонаты, (барит, флюорит)	Кварц, халцедон, опал, диккит, барит (карбонаты)
	Типы гидротермальных изменений (преимущественно прерудных)	Карбонатизация (доломитизация), аргиллизация	Лиственинизация	Опализация, аргиллизация	Окварцевание, аргиллизация		
	Вертикальная зональность оруденения	Проявлена слабо или не характерна В отдельных случаях обогащение самых верхних частей месторождений самородной серой, нижних — антимонитом, арсенопиритом			Иногда: Sb → Au, Ag (Pb, Zn) Ант Ga, Сф, Бл	Не ясна	
Структурно-морфологические типы рудных тел	От пластообразных и плащеобразных залежей	Тела сложной морфологии с преобладающей	Межпокровные залежи, трубообразные те-	Жильные зоны и жилы, пластообразные			
Рудоконтролирующие	Типы структур	Борта миогеосинклинальных прогибов (в редких случаях — эвгеосинклинальных)	Осевые части и борта эвгеосинклинальных прогибов	Бортовые части миогеосинклинальных прогибов, склоны поднятий	Борта миогеосинклинальных прогибов, центральные и краевые поднятия		
		Формации	Терригенные, терригенно-карбонатная, редко терригенно-кремнисто-вулканогенная	Терригенно-кремнисто-вулканогенная с массивами гипербазитов (серпентинитов)	Осадочные и вулканогенно-осадочные формации; гнейсо-сланцевые толщи блоков ранней консолидации (поднятий)	Терригенные (черносланцевая, флишодная, морская молассовая) и карбонатные формации; гнейсо-сланцевые комплексы блоков ранней консолидации (поднятий)	
		Степень метаморфизма	Не выше низких ступеней зеленосланцевой фации	Дислокационный метаморфизм фации глаукофановых сланцев	Метаморфизм различных ступеней	Метаморфизм различных ступеней, в том числе значительный контактовый	
		Особенности региональных рудоносных структур (в том числе блоков ранней консолидации)					
9 Зак. 346	тел	до жил, штокверков, трубообразных тел	протяженностью по склону (сотни метров)	ла, минерализованные зоны дробления	залежи		
		Сотни метров — до 1 км		Десятки — первые сотни м	100 м — > 300 м		
		Ртуть (0,2–5%) — мелкие — средние (в карбонатных породах — до крупных и уникальных)	Ртуть (0,2–1%) — средние — очень крупные; сурьма — единичные мелкие (Sb — 4%)	Ртуть (0,1%) — мелкие (единичные средние)	Сурьма (1–10%) — мелкие (единичные средние)	Сурьма (до 5%) — мелкие; вольфрам (до первых %) — до средних; ртуть (до 0,2–0,5%) — редкие мелкие	
		Западно-Палянское, Акташское; Ред-Девл, Хуанкавелика, Монте-Амиата	Чонкой, Чаган-Узун, Тамватней, Агятаг; Нью-Альмаден, Нью-Идрия, Лояне (Sb)	Пламенное, Чемпура, Терлигхая; Опалит, Кордеро, Айдахо-Альмаден	Салокачи, Успенское, Жипкошин, След, Костайник, Заяча, Энтимонипик, район Сан-Луис-Потоси	Барун-Шивея, Ново-Ивановское, Сагеби; Ла Индиа, Атолия, Гюмюшлер, Осаница	

Группы признаков	Ртутные и сурьмяные рудные формации						
	Признаки	VI. Ртутная (метациннабарит-киноварная) халцедон-карбонатно-аргиллизитовая	VII. Ртутная (метациннабарит-киноварная) лиственитовая	VIII. Ртутная (метациннабарит-киноварная) опалитовая (вторично-кварцитовая)	IX. Сурьмяная (антимонитовая) халцедон-аргиллизитовая	X. Сурьмяно-вольфрамовая (антимонит-ферберитовая) халцедон-аргиллизитовая	
рующиеся	Особенности региональных рудоносных структур	Инверсионных	Типы структур	складчатых	Синклинорные зоны, стыки их с антиклинорными зонами; слабо напряженная линейная складчатость	Синклинорные зоны линейной складчатости, часто весьма интенсивной	Преимущественно антиклинорные зоны, срединные и краевые массивы (жесткие блоки ранней консолидации)
			разрывных	Надвиговые структуры	Региональные надвиги со структурами типа меланжа, протрузиями	Унаследованная сеть региональных разломов	
		Гранитоидный магматизм	Отсутствие гранитоидов в рудоносных зонах (блоках) или спорадические единичные массивы	Распространение разновозрастных гранитоидов, иногда значительное			
		Типы структур	сводово-глыбовых	Фланги и „торцевые окончания“ вулканогенных поясов и зон, приуроченных к слабо дифференцированным сводовым поднятиям	Мозаичные интенсивно дифференцированные сводово-глыбовые поднятия, осложненные горстами и грабенами с дискретным проявлением вулканизма центрального и линейного типа		
			разрывных	Развитие систем „продольных“ (краевых, внутренних и др.) магмовыводящих разломов и поперечных трансформных линейментов, к узлам пересечения которых приурочены крупные рудные узлы, поля			
		тизм	Интрузивный	Мало характерен		Гранитоидные интрузии эпизодические в ядрах очаговых вулкано-структур. Sb оруденение на их периферии или за их пределами	
			Рудоносные	Группа порфировых формаций (андезитовая, липаритовая, контрастная липарито-базальтовая) с полным спек-			

Рудоконтроли

Ороген Магма	эффузивный	формации	ром дифференциации от базальтов и андезитов-базальтов до дацитов и риолитов, иногда с отчетливой гидроморфной направленностью предрудного вулканического ритма			
		Фациальные особенности	Фрагментарное развитие покровов, редуцированные разрезы вулкаников (пониженные мощности, выпадение отдельных свит)	Депрессионные вулканоструктуры со значительной полнотой разреза	Вулканокупольные очаговые структуры, линейные и кольцевые зоны субвулканических штоков, даек, тел эруптивных брекчий	
Латеральная зональность оруденения		$ \begin{array}{c} \text{Ag, Pb, Zn (Sb)} \rightarrow \text{Sb (Hg)} \rightarrow \text{Hg (Sb)} \\ \text{Au, Ag} \nearrow \\ \text{Sn (Pb, Zn, Ag, Sb)} - ? \rightarrow \text{Hg, Sb} \end{array} \qquad \begin{array}{c} \text{Au, Ag (Sb)} \leftarrow \text{Sb (Hg)} \rightarrow \text{Hg (Sb)} \\ \text{Sb, W (Hg)} \leftarrow \\ \text{As} \end{array} $				
Главные критерии регионального прогнозирования	Положительные	1. Полнодифференцированные серии субазральных вулкаников. 2. Депрессионный характер кольцевых вулканоструктур, их слабая эродированность. 3. Горсто-грабеновая тектоника. 4. Современная термальная активность	1. Распространение преимущественно субвулканической фации субазрального эффузивного комплекса. 2. Демисионные структуры складчатого основания с карбонатным разрезом	2. Геоантиклинальный характер структур складчатого основания. 3. Проявление более раннего W оруденения		
	Отрицательные	1. Гранитоидный магматизм. 2. Метаморфизм пород складчатого основания выше низких ступеней зеленосланцевой фации. 3. Проявление оруденения других видов (Au, W, Sn и др.)	1. Поздне- и посторогенные гранитоиды			
Примеры провинций и зон (в скобках — возраст рудовмещающих пород/ возраст предрудного вулканизма)		Чукотская (T ₃ /K ₁), Корякская (K—Pg/N—Q), Алтае-Саянская (Є/Д), Тосканская (K—Pg/Q), Перуанская (K/N—Q)	Алтае-Саянская (PZ ₁ /D), Карачатырская зона Южного Тянь-Шаня (Д—С/Р), Корякия (K/P—N), Калифорния (J—K/N—Q)	Саяно-Тувинская (Д/Д), Чукотская (K ₁ /K ₁), Центральная-Камчатская зона (N/N), Орегон-Невада (N—Q)	Хингано-Буреинская зона (PЄ/K), Анюйская зона (PZ, T/K), Динарская (T—K/KZ), Мексиканская (K/KZ)	Забайкальская (PR/K ₁), Рача-Осетинская зона (J ₁ /KZ), Боливия (O—Д/N), Анатолия (PZ ₁ /KZ)

Оценка территории СССР на ртуть и сурьму произведена путем прогнозного районирования с выделением площадей разной степени классификации рудных формаций и установленных критериев прогнозирования. При этом учитывается, что ртутнорудные формации могут в равной мере проявляться в разновозрастных складчатых системах фанерозоя, а сурьмяные — докембрия и фанерозоя, эродированных в разной степени.

В общем балансе запасов по сурьме и ртути в настоящее время основную роль играют стратиформные месторождения первой группы рудных формаций. В будущем сохранится важная роль этого типа оруденения в освоенных Sb-Hg провинциях — Средней Азии, Донбасса и др. Перспективными являются также Северная Джунгария, карбонатный пояс южного обрамления Сибирской платформы от Енисейского кряжа до Северного Прибайкалья, Сетте-Дабан с Юдомо-Майским прогибом и Кыллахским выступом.

В дальнейшем, очевидно, относительно возрастет значение ртутной листовенитовой формации (VII). Ее главные перспективные площади, кроме известных в Средней Азии и на Алтае, сосредоточены в Корякско-Камчатской провинции, Восточном Казахстане. Возможно также усиление роли ртутной халцедон-карбонатно-аргиллизитовой формации (VI) за счет перспективных районов субаэрального вулканизма, проявляющегося на карбонатном основании (Алтае-Саянская провинция, некоторые части Монголо-Охотского пояса, восточные и южные фланги Юдомо-Майского прогиба).

Перспективы золото-антимонитовой кварцево-оксеталитовой формации (IV), оцениваемые как весьма высокие, могут быть реализованы главным образом в Яно-Колымском поясе. Интерес представляют прогнозные площади, выделенные в Кольско-Карельском регионе, на Северном Урале, в Казахстане.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

*Н. Н. Сарсадских, М. И. Плотникова, Ю. Д. Смирнов,
В. А. Благулькина*

МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ

В настоящем сообщении сделана попытка кратко охарактеризовать главнейшие формационные типы алмазных месторождений, критерии прогнозной оценки различных территорий и привести примеры оценки перспектив алмазоносности различных районов СССР в разных масштабах.

Главнейшие формационные типы месторождений алмаза

Все эндогенные месторождения алмаза приурочены только к одному типу — кимберлитам, являющимся типичными платформенными образованиями. Связь алмаза с другими типами магматических пород, как, например, гипербазитами складчатых областей (Урал, о. Калимантан),

только предполагается по приуроченности к ним алмазных россыпей. В последние годы установлена алмазность импактитов и эклогитов.

На платформе кимберлиты могут присутствовать в составе: 1) кимберлитовой формации, представленной одними кимберлитами и развитой преимущественно в центральных частях платформ; 2) формации кимберлитов и пикритовых порфиритов, в которой, кроме кимберлитов, присутствуют пикритовые порфириты; 3) формации щелочно-ультраосновных пород и щелочных базальтоидов, в составе которых также могут встречаться единичные тела кимберлитов.

Высокие промышленные концентрации алмаза могут дать только кимберлиты, относящиеся к кимберлитовой формации.

В основном кимберлиты слагают диатремы и дайки и представлены эруптивной брекчией, состоящей из включений различных пород и связующей массы ультраосновного состава. Кроме глубинных ультраосновных пород — пироповых оливинитов, перидотитов и пироксенитов, в них присутствуют включения кимберлитов ранних фаз внедрения и разнообразных пород, происходящих из фундамента платформ и ее осадочного чехла. Связующая масса эруптивных кимберлитовых брекчий в большинстве случаев представлена полностью измененным (серпентинизированным и карбонатизированным) частично раскристаллизованным стеклом, в котором различаются фенокристаллы и микролиты оливина и флогопита, микролиты пироксена, зерна перовскита и магнетита.

Химизм кимберлитов варьирует в довольно широких пределах. При этом образуется ряд кимберлитовых пород, крайние члены которого встречаются в различных структурных условиях.

В россыпях алмаз является алотигенным минералом и может концентрироваться в разнообразных осадочных формациях. Поэтому выделение осадочных алмазосных формаций производится на основании общности черт вещественного состава, в соответствии с чем выделяются две группы формаций (табл. 1).

Таблица 1

Осадочные алмазосные формации

Вещественный состав алмазосных формаций	Условия образования алмазосных формаций и фаций	
	Континентальные	Прибрежно-морские, морские
Олигомиктовые: галечники и конгломераты	Элювиальные (коры выветривания) на вторичных коллекторах, пролювиальные	Пляжевые, дельтовые (надводных частей), баров, береговых валов, морских террас, мелководного шельфа
песчаники, пески, алевролиты	Элювиальные на вторичных коллекторах, проточных озер, аллювиальные	
глины	Элювиальные (коры выветривания) на кимберлитах, делювиальные, элювиально-делювиальные	
Полимиктовые: галечники и конгломераты	Аллювиальные, пролювиальные, прибрежной части озер и др.	Пляжевые, дельтовые, баров, морских террас, береговых валов, мелководного шельфа
песчаники, пески и алевролиты	Аллювиальные	
глины, глины со щебнем	Делювиальные и элювиально-делювиальные	

1. Группа олигомиктовых формаций, характеризующихся преобладанием устойчивых к химическому выветриванию обломков пород, минералов тяжелой фракции и специфическим набором глинистых минералов. Породы этой группы образуются в жарком и умеренно теплом климате, гумидном или аридном, в тектонически стабильных условиях, обеспечивающих интенсивное химическое выветривание коренных алмазодержащих пород и формирование элювиальных, делювиальных, пролювиальных и золовых (дефляционных) россыпей ближнего сноса.

2. Группа полимиктовых формаций, отличающихся разнообразием состава обломочного материала и минералов тяжелой фракции с преобладанием компонентов, неустойчивых к химическому выветриванию. Эти породы образуются в условиях гумидного климата при тектонической активности территории, что обуславливает неоднократный перемыв и прогрессирующее обогащение алмазами все более молодых отложений с преимущественной их концентрацией в аллювиальных россыпях.

И в той и в другой формационной группе по условиям формирования могут быть выделены прибрежно-морские и континентальные формации, а по гранулометрическому составу продуктивных толщ — галечниковые, песчаные, глинистые и др.

Критерии прогнозной оценки территории на алмазы

При прогнозной оценке территории на эндогенные месторождения алмаза могут быть использованы следующие наиболее существенные критерии: структурно-тектонические, петрологические и минералогические, а также другие менее важные геологические критерии (табл. 2).

Почти все указанные критерии являются одновременно и региональными и локальными. Специфически локальных критериев, по существу, почти не имеется.

Большинство петрологических и минералогических критериев, отражающих специфические особенности алмазодержащих кимберлитов, естественно, может быть использовано только в районах, где местонахождение богатых алмазами кимберлитов уже известно (Сибирь). Для районов, где они еще не установлены, могут быть применены только структурно-тектонические критерии и часть минералогических — находки в осадочных толщах самого алмаза и его парагенетических спутников, особенно тех, которые характерны для высокоалмазодержащих кимберлитов.

Главнейшие критерии прогнозной оценки территорий с точки зрения перспектив экзогенной алмазодержащести следующие: структурно-тектонические, присутствие коренных источников, палеогеографические и фациальные, литологические, геоморфологические и минералогические (табл. 3). Стратиграфические критерии вследствие широкого возрастного диапазона распространения алмаза в осадочных формациях значения не имеют.

Перспективы эндогенной и экзогенной алмазодержащести можно оценить только по совокупности перечисленных критериев.

В пределах платформ и складчатых областей степень важности отдельных критериев неодинакова. На древних платформах наибольшее значение имеют минералогические критерии. Особенно важно присутствие малоустойчивых к переносу продуктов дезинтеграции кимберлитов (серпентин, оливин, пироксен и их сростки), а также размер и некоторые морфологические особенности зерен минералов-спутников (сохранность келифитовых каемок, первичной шагреневой поверхности и т. д.). Эти признаки сами по себе не указывают на присутствие высокоалмазодержащих кимберлитов, но при наличии их в районе по аналогии можно прогнозировать новые богатые кимберлитовые тела. Степень алмазодержащести терригенных толщ по минералам-спутникам не определяется.

**Критерии прогнозной оценки территории на эндогенные
месторождения алмаза**

Региональные	Локальные
--------------	-----------

Структурно-тектонические

1. Древние докембрийские платформы или их части	Места пересечения зон разломов, разрывные нарушения, оперяющие главный разлом
2. Разломы, находящиеся в центральных частях платформ, ограничивающие крупные структуры опускания (синеклизы, авлакогены) или расположенные вблизи этих структур	

Петрологические

1. Формационные

Наличие пород кимберлитовой формации, отсутствие совместных проявлений щелочно-ультраосновных пород и щелочных базальтоидов (которые приурочены к периферийным частям платформы)

2. Фациальные

Наличие кимберлитов взрывной фации (эруптивных брекчий), отсутствие совместных проявлений кимберлитов дайковой фации (пикритовых порфиритов)

3. Химические

Присутствие кимберлитов I петрохимического типа маложелезистого слабощелочного ($Fe_2O_3 + FeO - 7,34$; $K_2O - 0,36$; $Al_2O_3 - 3,31$; $TiO_2 - 1,36$; $MgO - 26,42$)

4. Геохимические

Распространение кимберлитов с высоким содержанием элементов ультраосновных пород — никеля и хрома и низким — элементов щелочно-ультраосновных и основных пород — скандия, марганца, циркония, ванадия, фосфора, ниобия и стронция

Распространение кимберлитов с низким содержанием циркония, ванадия, фосфора, ниобия и стронция

5. Петрографические

а) Присутствие в кимберлитах значительных содержаний включений глубинных пород и ксенокристаллов оливина.

б) Распространение среди включений глубинных пород пироповых оливинитов и перидотитов, почти полное отсутствие или резко подчиненное количество глубинных пород с неравновесными (в условиях высоких давлений) минеральными ассоциациями. Отсутствие структур распада породообразующих минералов.

в) Распространение оливина более магнезиального с большим количеством никеля и небольшим — марганца.

г) Распространение кимберлитов с существенно оливиновым составом связующей массы.

Минералогические

1. Содержание алмаза

Наличие в пределах территорий кимберлитов с высоким содержанием алмаза, находки алмаза в дочетвертичных осадочных породах и наличие алмазных россыпей четвертичного возраста.

2. Содержание парагенетических спутников алмаза

Наличие в пределах территорий кимберлитовых тел с высоким содержанием пироба и отсутствие тел с высоким содержанием пикроильменита (при низком содержании пироба).

Региональные	Локальные
--------------	-----------

Находки минералов-спутников * в дочетвертичных осадочных породах.

Местонахождение конкретных тел может прогнозироваться по наличию в осадочных породах зерен оливина, пироксена, флогопита, а также их сростков с другими минералами включений ультраосновных пород.

3. Степень изменения кимберлитов

Отсутствие кимберлитовых тел с высоким содержанием ксенокристаллов свежего оливина

4. Химизм минералов-спутников алмаза

Наличие тел, в которых преобладают наиболее хромовые разновидности пирропа и хромшпинелида, аналогичные генетическим спутникам алмаза

Прочие геологические критерии

1. Возраст кимберлитов

Развитие кимберлитовых тел, имеющих возраст алмазоносной кимберлитовой формации

2. Размер и форма кимберлитовых тел

Развитие крупных диатрем, преимущественно округлого и овального сечения и отсутствие протяженных даек

* Парагенетические спутники алмаза — минералы, которые находятся в кимберлитах совместно с алмазом; генетические спутники — те, которые установлены в виде включений в алмазе.

Единственным критерием является присутствие самого алмаза. В складчатых областях, где связь россыпей с коренными первоисточниками не установлена, из косвенных критериев наиболее важны литологические и геоморфологические. Единичные находки минералов—парагенетических спутников (западный склон Северного Урала, Тиман), встретившихся в складчатых областях, не могут быть непосредственно использованы для поисков россыпей (и коренных первоисточников).

Оценка перспектив алмазоносности территории СССР

Подобная оценка может быть произведена с разной детальностью в зависимости от степени изученности, в связи с чем выделяются четыре категории регионов:

1. Сравнительно хорошо изученные, такие, как Уральская складчатая область и Сибирская платформа, на примере которых разработаны главные региональные и локальные критерии алмазоносности. На слабо освещенных исследованиями площадях Сибирской платформы на основе региональных критериев можно рекомендовать проведение исследований и глубинного доизучения территории в среднем масштабе с целью выделения новых алмазоносных районов. Пример—северо-восток Сибирской платформы, где можно рассчитывать на открытие новых районов с высокоалмазоносными кимберлитами и древними россыпями. В лучше изученных районах на основании региональных и локальных критериев можно рекомендовать постановку крупномасштабной групповой съемки и опробования с целью поисков узлов, полей и отдельных тел алмазоносных кимберлитов и древних россыпей. Пример—Средне-Мархинский район. На севере Уральской складчатой области можно рекомендовать постановку крупномасштабных поисково-съёмочных работ с целью поисков россыпей в породах такатинской свиты девона, в рыхлых мезозойско-кайнозойских образованиях в карстовых воронках на

**Критерии прогнозной оценки территорий на экзогенные
(россыпные) месторождения алмазов**

Региональные	Локальные
--------------	-----------

Структурно-тектонические

1. Самые благоприятные структурные элементы земной коры — древние платформы; менее благоприятны миогеосинклинальные зоны древних складчатых областей.

2. Зоны сопряжения крупных платформенных структур — положительных (антеклиз) и отрицательных (синеклиз, прогибов) при слабых и умеренных дифференцированных тектонических движениях*. Структурные депрессии в складчатых областях, связанные преимущественно с прогибами

Мелкие конседиментационные впадины в пределах валов; склоны поднятых тектонических блоков в пределах валов, поднятий и др.

Присутствие коренных источников

1. Первичных — алмазосных кимберлитовых тел.

2. Вторичных — осадочных и метаморфизованных осадочных алмазосодержащих пород.

Палеогеографические и фациальные

1. Континентальные обстановки

а) В условиях тектонической стабильности при жарком и умеренно теплом гумидном климате

б) То же при аридном климате

в) В условиях тектонической активности при гумидном климате

а) Элювиальные (коры выветривания), делювиальные, проточных озер

б) Элювиальные (коры выветривания), делювиальные, пролювиальные, эоловые
в) Аллювиальные, делювиальные, крупных озер

2. Прибрежно-морские и мелководно-морские обстановки

При дифференцированных тектонических движениях в областях сноса и аккумуляции и аридном климате

Пляжевые, береговых валов, абразионно-аккумулятивных террас, надводных частей дельт, баров; менее благоприятны фации мелководного шельфа

Литологические

1. Присутствие в базальных горизонтах осадочных толщ грубообломочных пород — конгломератов, галечников, гравелитов, щебнисто-глыбовых образований.

2. Наличие олигомиктовых формаций, характеризующихся преобладанием компонентов, устойчивых по отношению к процессам химического выветривания.

3. Присутствие полимиктовых формаций, характеризующихся пестротой вещественного состава и преобладанием неустойчивых компонентов

В зависимости от состава пород ближайшего геологического окружения в обломочном материале могут преобладать: кварц, кварциты или кремнистые породы; в глинистых фракциях — каолинит, монтмориллонит и др.

В зависимости от состава пород ближайшего геологического окружения в обломочном материале присутствуют разнообразные породы: долериты, граниты, известняки, песчаники, сланцы; особенно благоприятно наличие обломков кимберлитов. В глинистых фракциях наиболее обычны гидрослюды

* Весьма интенсивные тектонические движения неблагоприятны для формирования россыпей алмазов.

Региональные	Локальные
--------------	-----------

Геоморфологические

1. Неотектонические движения

а) На платформах зоны так называемых „нулевых градиентов“, образующихся в областях сочленения унаследованно развивавшихся с мезозоя крупных поднятий (совпадающих с антеклизмами) и опусканий (совпадающих с синеклизмами и прогибами).

б) В складчатых областях неотектонические поднятия умеренной интенсивности, проявляющиеся в межгорных структурно-эрозивно-карстовых депрессиях протяженностью в сотни километров

2. Денудационные формы рельефа

Наличие пенепленов, слабо затронутых процессами денудации, с сохранившимися образованиями кор выветривания либо полигенетических поверхностей выравнивания с уцелевшим покровом рыхлых отложений.

В складчатых областях присутствие депрессий, куда сносились продукты денудации алмазодержащих пород

Участки междуречий, слабо затронутых процессами денудации, с сохранившимися образованиями коры выветривания или рыхлыми мезозойско-кайнозойскими отложениями, часто приуроченными к карстовым понижениям.

Наличие террасовидных площадок на склонах междуречий

3. Эрозивно-аккумулятивные формы рельефа

Речные долины, приуроченные к карбонатным породам, карстующимся или сильно трещиноватым с комплексом эрозивно-аккумулятивных террас

Участки долин с развитием русловой фации аллювия грубообломочного состава на карбонатных породах.

Формы микрорельефа русла в зонах максимальных размывов — центральные и „хвостовые“ части плесовых ложин, верхние побочни и подвалья перекаатов, стержневые зоны на прямолинейных отрезках долин, прирусловые отмели при фуркациях русла. Верхние горизонты трещиноватого или ребристого плотика. Участки переуглубленных русел рек с древним грубообломочным аллювием

4. Абразивно-аккумулятивные формы рельефа

Прибрежные части морей и крупных озер с комплексом террас

Пляжи, бары, дельты, береговые валы, морские террасы

5. Карстовые формы рельефа

Крупнейшие карстовые депрессии

Отдельные воронки, западины, служащие геоморфологическими ловушками

6. Эоловые формы рельефа

Дефляционные впадины

7. Глубина денудационного вреза

Глубокий денудационный врез при неотектонических поднятиях умеренной активности

Региональные

Локальные

Минералогические критерии

1. Присутствие алмазов

2. Высокое содержание минералов — парагенетических спутников алмаза — пиропа, пикроильменита, хромдиоксида, хромшпинелида:

- а) наличие сростков минералов;
- б) крупные размеры; в) присутствие келифитовых оболочек на зернах пиропа; г) хорошая сохранность первичной шагреновой поверхности зерен; д) присутствие различных цветовых разновидностей пиропа; е) наличие трещиноватых зерен пиропа, ж) присутствие пиропа со следами преобразований в гипергенных условиях; з) высокое содержание зерен пикроильменита агрегатного строения; и) присутствие оливина, серпентина

3. В областях, где неизвестны коренные источники, высокое содержание „аллювиальных“ спутников алмаза (устойчивых по отношению к механическому переносу) — циркона, ильменита и др.

водоразделах и в древнечетвертичном аллювии, залегающем в переуглубленных участках речных долин.

2. Слабо изученные регионы с установленной алмазоносностью и пиропоносностью рыхлых отложений, находящиеся в благоприятной геолого-структурной обстановке. Примеры—Русская платформа (юго-восточное обрамление Балтийского щита, северо-западная окраина Украинского щита, зона сочленения Приазовского массива с Донбассом и др.), Тиман. Здесь необходимо произвести сводку имеющихся материалов по алмазоносности и поставить специализированные тематические исследования с целью выделения площадей, перспективных для проведения металлогенических исследований среднего масштаба.

3. Незученные регионы с находками мелких алмазов в титановых россыпях и коренных породах разного происхождения (эклогитах, импактитах и др.), находящихся в разнообразных геолого-структурных обстановках (Западно-Сибирская плита, Кокчетавская глыба, Армения, Пай-Хой, Камчатка). В этом случае необходима постановка специализированных тематических исследований.

4. Незученные регионы в сравнительно благоприятных геологических структурах. Пример — срединный Колымский массив. Нуждается в постановке специализированных тематических исследований.

В. Р. Артемов, Р. В. Колбанцев

МЕСТОРОЖДЕНИЯ АСБЕСТА

Среди многочисленных минеральных видов асбеста важное промышленное значение в нашей стране имеют хризотил-асбест и антофиллит-асбест. Первый из них занимает особое положение, благодаря широкому применению в промышленности и строительстве и наличию крупных месторождений, обеспечивающих постоянно возрастающую до-

бычу. Антофиллит-асбест, значительно менее распространенный в природе, является незаменимым сырьем при изготовлении кислотостойких изделий.

Советский Союз занимает первое место в мире по запасам хризотил-асбеста. Однако географическое размещение основных запасов лишь на Урале и в Туве явно неудовлетворительно. В связи с этим возникает задача создания сырьевой базы хризотил-асбеста в других регионах. Запасы антофиллит-асбеста, полностью сконцентрированные на Урале, также явно недостаточны.

Формационные типы месторождений хризотил-асбеста и антофиллит-асбеста

В таблице приведена краткая характеристика формационных типов месторождений хризотил-асбеста и антофиллит-асбеста, которые имеют или могут иметь промышленное значение.

Месторождения и проявления хризотил-асбеста по их приуроченности к образованиям той или иной геологической формации подразделяются на две группы формационных типов (генетических типов, по П. М. Татаринovu, 1967): месторождения, связанные с ультраосновными изверженными породами, и месторождения в измененных карбонатных породах осадочных толщ. В первую группу входят месторождения и проявления в породах дунит-гарцбургитовой формации и в существенно оливиновых дифференциатах перидотит-пироксенит-норитовой (расслоенных интрузий) и трапповой магматических формаций. Промышленное значение имеют лишь месторождения хризотил-асбеста первой из указанных формаций. Некоторыми исследователями месторождения хризотил-асбеста карачаевского подтипа связываются с массивами «пироксенит-перидотитовой» формации. Однако последняя по многим признакам близка к дунит-гарцбургитовой формации и скорее является ее разновидностью.

Все эксплуатирующиеся месторождения хризотил-асбеста СССР и месторождения, дающие подавляющую часть добычи за рубежом, относятся к баженовскому подтипу. Они являются основным предметом поисков и прогнозирования. Месторождения лабинского подтипа, как правило, бывают значительно более мелкими. Месторождения карачаевского подтипа изредка достигают значительных размеров, но содержат волокно худшего качества или трудно отделяемое из-за тесного срастания с немалитом. За рубежом ряд месторождений этих двух подтипов разрабатывается. Возможно, в некоторых случаях они могут представлять интерес для промышленности и у нас.

Месторождения хризотил-асбеста в породах карбонатных толщ невелики по размерам. Они могут иметь промышленное значение благодаря низкой электропроводности содержащегося в них маложелезистого асбеста.

Из формационных типов месторождений антофиллит-асбеста промышленное значение имеют только месторождения в породах дунит-гарцбургитовой формации. Выделение антофиллитоносных ультраосновных пород в особую формацию «оливин-энстатитовых пород» нерационально, так как эти породы являются метаморфизованными разновидностями пород дунит-гарцбургитовой формации.

Критерии прогнозной оценки асбестоносности

Критерии прогнозной оценки отдельных районов и всей территории страны в целом на возможное выявление промышленно ценных месторождений хризотил-асбеста, связанных с дунит-гарцбургитовой формацией, в первую очередь обусловлены особенностями распространения

массивов этой формации. Перспективные площади могут быть выявлены лишь в пределах складчатых областей. Они ограничиваются гипербазитовыми поясами, приуроченными, как правило, к эвгеосинклиналям и размещенными вдоль глубинных разломов, разделяющих зоны разной мобильности. Древние складчатые области, испытавшие интенсивный региональный метаморфизм, бесперспективны. Наиболее богатые асбестоносные провинции находятся в областях палеозойской складчатости. Здесь перспективные хризотил-асбестоносные минерагенические зоны (гипербазитовые пояса) располагаются на некотором удалении от внешней границы эвгеосинклинали, в интрагеосинклинальных зонах, среди вулканогенно-осадочных толщ, испытавших интенсивное зеленокаменное перерождение.

Альпийские складчатые области менее перспективны. Асбестоносные минерагенические зоны располагаются в них преимущественно вблизи внешней границы эвгеосинклинали, с локализацией асбестоносных массивов среди толщ нижнего (догеосинклинального) структурного этажа, иногда испытавших региональный метаморфизм зеленосланцевой фации.

Крупные месторождения хризотил-асбеста (баженовского подтипа) приурочены к гипербазитовым поясам и их участкам с региональным проявлением хризотило-лизардитового типа серпентинизации ультраосновных пород. Интенсивное проявление других типов метаморфизма ультраосновных пород снижает перспективы поисков крупных месторождений хризотил-асбеста.

Для поисков крупных (баженовского подтипа) месторождений благоприятны массивы ультраосновных пород существенно гарцбургитового состава, испытавшие частичную лизардитизацию и последующую интенсивную хризотилизацию. Локализация асбестовых залежей контролируется зонами разломов, пересекающих массивы или проходящих по их контактам. Такие зоны фиксируются участками развития рассланцованных серпентинитов или талько-карбонатных пород и дайками основного и кислого состава. Залежи богатых руд располагаются по периферии ядер частично серпентинизированных гарцбургитов и обладают характерной зональностью, выражающейся сменой бедных руд богатыми от разломов к ядрам. В наиболее полном виде наблюдаются следующие зоны (от ядра к разлому): 1) слабо лизардитизированные гарцбургиты и дуниты без асбеста; 2) те же породы, слабо хризотилизованные, с одиночными жилками асбеста; 3) частично лизардитизированные и хризотилизованные гарцбургиты с простыми и сложными отороченными жилами асбеста; 4) хризотилловые и лизардито-хризотилловые серпентиниты с мелкими ядрами частично серпентинизированных гарцбургитов и с крупной сеткой жил асбеста или с неразвитыми сложными жилами; 5) лизардитовые серпентиниты с мелкой сеткой жил асбеста; 6) лизардитовые серпентиниты с мелкопрожилковыми рудами асбеста; 7) лизардитовые серпентиниты с просечками и одиночными жилками асбеста, сменяющиеся массивными, а затем сланцеватыми серпентинитами без асбеста. Наиболее богатые руды связаны с зонами интенсивной хризотилизации в участках слабого проявления лизардитизации первой стадии.

В пределах рудного поля отдельные рудные тела всегда бывают приурочены к гарцбургитам или дунито-гарцбургитовым полосчатым комплексам с преобладающим развитием гарцбургитов. В дунитовых обособлениях хризотил-асбест обычно развивается очень слабо. Еще менее благоприятной средой для асбестообразования являются клинопироксениты.

При поисках месторождений хризотил-асбеста лабинского и карачевского подтипов следует учитывать в основном региональные критерии, изложенные выше. Следует, однако, иметь в виду, что такие место-

Формационные типы месторождений

Минеральный вид асбеста	Формационные типы месторождений	Особенности структурно-минерагенических зон	
		тектоническое положение	региональный метаморфизм
Хризотил-асбест	Месторождения хризотил-асбеста в породах дунит-гарцбургитовой формации	Гипербазитовые пояса синклинальных зон эвгеосинклиналей, контролируемые глубинными разломами, разграничивающими зоны различной мобильности	Интенсивное зелено-каменное перерождение пород вмещающих толщ, реже региональный метаморфизм низших ступеней зеленосланцевой фации; региональное проявление хризотил-лизардитового типа серпентинизации ультраосновных пород
	Месторождения хризотил-асбеста в карбонатных породах осадочных формаций	Зоны развития существенно доломитовых карбонатных толщ в крайних частях платформ, многоэосинклиналях и слабо мобильных зонах эвгеосинклиналей	Не проявлен
Антофиллит-асбест	Месторождения антофиллит-асбеста в породах дунит-гарцбургитовой формации	Щиты, срединные массивы и внутриэосинклинальные поднятия палеозойских складчатых областей	Амфиболитовая фация; интенсивная мигматизация вмещающих пород; широкое развитие антофиллитизации и оталькования ультраосновных пород

хризотил-асбеста и антофиллит-асбеста

Морфологические типы месторождений	Масштаб месторождений	Околорудные изменения	Типы руд	Примеры месторождений
Месторождения баженовского подтипа в не полностью серпентинизированных существенно гарцбургитовых массивах	Крупные и средние с запасами до десятков миллионов тонн	Интенсивная хризотилизация, иногда антигортитизация	Отороченные жилы, сетчатые и мелкопрожилковые руды поперечно-волокнистого асбеста	Баженовское, Алапаевское, Режевское в Среднеуральской Восточной зоне, Джетыгаринское, Киембайское в Южноуральской Восточной зоне
Месторождения лабинского подтипа в узких зонах массивов, серпентинизированных в различной степени	Преимущественно мелкие с запасами до десятков тысяч тонн	Интенсивная лизардитизация	Серпентиниты с одиночными жилами и сериями параллельных жил асбеста	Псянчинское, Урусбаевское, Губерлинское в Центральноуральской зоне
Месторождения карачаевского подтипа в полностью серпентинизированных, рассланцованных массивах со значительным развитием пироксенитов	Мелкие, изредка до крупных с запасами — несколько млн. тонн	Развитие сланцеватых лизардитохризотиловых серпентинитов, антигортитизация, немалитизация	Сланцеватые серпентиниты с сериями жил продольно-волокнистого асбеста	Ешкеульмесское, Акжалское, Аиртауское в Улутауской зоне
Зоны развития асбестовых жил на контактах доломитов с секущими их интрузиями	Мелкие с запасами тысячи — десятки тысяч тонн	Серпентинизация, развитие офикальцита	Серпентиниты с одиночными жилами и сериями параллельных жил маложелезистого асбеста	Аспагашское, Бистагское в Минусинской зоне; Сары-Чеку в Алмалыкской зоне
Месторождения сысертского типа с крупными асбестовыми залежами	Крупные и средние	Антофиллитизация, оталькование, карбонатизация	Пучковатые руды с содержанием волокна до 35%	Сысертское, Терсутское и др. в Сысертско-Ильменогорской зоне, Бугетсайское в Мугоджарской зоне

рождения встречаются и в тех гипербазитовых поясах, где условия для поисков месторождений баженовского подтипа неблагоприятны. В частности, месторождения карачаевского подтипа часто бывают развиты в антиклинальных зонах эвгеосинклиналей и в миогеосинклиналях. Они встречаются в гипербазитовых поясах, для которых характерно региональное распространение антигоригизации. Месторождения лабинского подтипа могут быть обнаружены в полностью серпентинизированных массивах.

Критерии оценки территорий на выявление месторождений мало-железистого хризотил-асбеста в породах карбонатных формаций основываются на приуроченности почти всех известных месторождений и проявлений этого формационного типа к толщам позднепротерозойского — раннекембрийского возраста краевых частей платформ, миогеосинклиналей и слабо мобильных зон эвгеосинклиналей. В пределах указанных зон потенциально перспективными участками являются площади развития доломитов и доломитизированных известняков, прорванных массивами гранитоидов, силлами долеритов и габбро-диабазов, дайками лампрофиров, диабазов и пр. Возраст секущих интрузивных образований не влияет на оценку перспективности. Наиболее благоприятны для асбестизации тонкослоистые доломиты.

Общие критерии оценки антофиллит-асбестоносности территорий, касающиеся размещения массивов дунит-гарцбургитовой формации, совпадают с указанными для месторождений хризотил-асбеста. Однако площади, перспективные для поисков месторождений антофиллит-асбеста, ограничиваются лишь гипербазитовыми поясами, размещенными среди регионально метаморфизованных толщ (амфиболитовая фация) докембрийских и палеозойских складчатых областей. В пределах докембрийских щитов перспективные на антофиллит-асбест гипербазитовые пояса или их участки располагаются среди протерозойских толщ, преимущественно в синклинорных зонах. В пределах палеозойских складчатых областей перспективны складчатые пояса или их участки, размещенные в срединных массивах или внутренних антиклинальных поднятиях. Характерно широкое развитие гранитов, интенсивная мигматизация вмещающих пород, присутствие большого количества пегматитовых жил. Поисковым признаком может служить интенсивная антофиллитизация ультраосновных пород. Асбестоносные зоны располагаются среди талько-антофиллитовых и талько-карбонатно-антофиллитовых пород вблизи контактов с вмещающими гнейсами и амфиболитами. Наибольшее промышленное значение имеют пучковатые руды. Развитие только звездчатых руд или антофиллит-асбестовых жил в пределах массива ультраосновных пород указывает на малую его перспективность.

Оценка перспектив асбестоносности СССР

Наиболее перспективными для прироста запасов хризотил-асбеста в месторождениях, связанных с дунит-гарцбургитовой формацией, являются те зоны, в которых сосредоточена подавляющая часть балансовых запасов. Это — Среднеуральская Восточная, Южноуральская Восточная, Северо-Невьянская, Актювракско-Куртушибинская, Ильчирско-Китойская зоны. Прирост запасов в этих зонах может быть получен за счет доразведки глубоких горизонтов и флангов известных месторождений. Здесь имеется также ряд неизученных месторождений и возможно обнаружение новых. К перспективным по общим геологическим соображениям, но недостаточно изученным относятся зоны Улугауская, Чу-Балхашская, Деспская, Кузнецко-Алатауская, Салаирская. Остальные районы развития пород дунит-гарцбургитовой формации для поисков новых крупных месторождений баженовского подтипа, видимо, мало

перспективны. Однако в некоторых из них следует проводить поиски средних и мелких месторождений (с запасами 1—2 млн. т волокна), разработка которых может оказаться рентабельной в случае благоприятных условий освоения и близости потребителя. К таким районам в первую очередь относятся Украина, Карелия, Дальний Восток, Средняя Азия.

В связи с отсутствием требований к месторождениям маложелезистого хризотил-асбеста в карбонатных толщах, трудно оценить перспективность территорий в отношении месторождений этого формационного типа. Относительно более перспективными, в сравнении с другими, представляются Алмалыкская и Киргизская зоны. Заслуживают интереса Малохинганская и Уссурийская зоны в связи с их принадлежностью к той же асбестоносной провинции, что и значительные по масштабам месторождения Северо-Восточного Китая. Может представить интерес также асбестоносность карбонатных толщ северо-западной части Сибирской платформы, прорванных силами траппов. По геологической обстановке эта зона близка к Аризонской асбестоносной провинции.

Для поисков месторождений антофиллит-асбеста наиболее перспективна Сысертско-Ильменогорская зона, где имеется возможность прироста запасов за счет доразведки уже известных месторождений, а также поисков новых (к северу и югу от Сысертско-Ильменогорского антиклинория). Возможно обнаружение новых месторождений и в Мугоджарской зоне. Перспективность Северо-Карельской, Приладожской, Зейско-Гилуойской, Султануиздагской, Южно-Анабарской зон недостаточно ясна. Месторождения антофиллит-асбеста на их территории еще не выявлены. В то же время, учитывая особенности геологического строения этих зон, необходимо проведение тщательного их изучения.

Оценивая перспективы асбестоносности территории СССР в целом, можно заключить, что в ближайшем будущем основными асбестодобывающими районами останутся Урал и Южная Сибирь при некотором возрастании доли последней. Появление новых асбестоносных провинций в качестве крупных сырьевых баз асбестовой промышленности мало вероятно. Более реально ожидать обнаружения отдельных месторождений, пригодных для промышленного освоения, причем наибольшими перспективами в этом отношении обладают районы, в которых расположены уже разведанные крупные месторождения.

И. Я. Дядькина, И. А. Львова, М. П. Орлова

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФЛОГОПИТА И ВЕРМИКУЛИТА

Из всего многообразия железо-магнезиальных слюд промышленную ценность представляют флогопит и вермикулит. Флогопит, ранее использовавшийся лишь в качестве щипаной слюды, в настоящее время служит сырьем для производства слюдопласта. Вермикулит — новый вид минерального сырья — имеет широкие перспективы применения как эффективный тепло- и звукоизолятор.

Выявленные запасы флогопитовых руд (в целом вполне достаточные для обеспечения требований отечественной промышленности) локализованы в основном в двух провинциях: Алданской и Карело-Кольской. Причем 67,5% балансовых запасов относится к Главной залежи Ковдорского массива, содержащей относительно низкокачественный флогопит. В связи с этим представляется актуальным, с одной стороны, изменение географии размещения запасов флогопита, с другой — выявление на известных территориях участков распространения слюды высокого качества.

Из 25 открытых месторождений вермикулита эксплуатируются лишь два (Ковдорское и Потанинское) в масштабах, не обеспечивающих даже минимальные запросы современной промышленности. Растущий спрос различных отраслей народного хозяйства на вермикулит требует выявления новых и оценки известных месторождений с учетом условий рентабельности их эксплуатации.

Флогопит

Главнейшие формационные типы месторождений

Все месторождения крупнокристаллического флогопита относятся к двум формационным типам, отличающимся по геологической позиции, структуре, парагенетическим ассоциациям и металлогенической специализации: 1) месторождения комплексов ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов; 2) месторождения комплексов докембрийских магнезиальных метаморфических пород с аляскиотовыми гранитами (табл. 1).

Характерной особенностью месторождений первого типа является концентрация значительных запасов слюды на малой площади. Флогопит относительно высокожелезистый ($F_m = 10-25\%$) и содержит большое число первичных включений. Месторождения второго типа отличаются более высококачественным, менее железистым ($F_m = 0,5-14\%$) флогопитом, однако он образует довольно мелкие концентрации, рассредоточенные на больших площадях. Месторождения обоих типов сопровождаются разнообразной комплексной минерализацией.

В связи с ускоренным ростом производства слюдопласта, сырьем для которого служит чешуйка флогопита, промышленную значимость могут приобрести также месторождения и других типов: в зонах контакта ультрабазитов и гранитов, основных эффузивов и сиенитов, содержащие до 40% мелкокристаллического флогопита с железистостью 10—25%.

Критерии прогнозной оценки на флогопит

В силу резкого различия закономерностей размещения месторождений флогопита разных формационных типов критерии их прогноза и оценки применительно к объектам разного масштаба (провинции, рудные зоны, узлы) рассмотрим раздельно.

Месторождения комплексов ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов

Геолого-структурный критерий. Положение провинции определяется наличием долгоживущих глубинных разломов в областях длительной стабилизации (100 млн. лет и более): на щитах, в краевых и пограничных зонах платформ, во внутригеосинклинальных поднятиях и др. Отдельные массивы располагаются в узлах пересечения глубинных разломов с опережающими трещинами. Залежи флогопита в пределах массивов контролируются подковообразными и неполнокольцевыми трещинами в зонах контакта ультрабазитов со щелочными породами, мелилитолитами, реже карбонатитами. Меньшую роль играют зоны трещиноватости, секущие по отношению к внутренней структуре массивов. Положение зон гиганто- и крупнокристаллического флогопита внутри залежей определяется самостоятельными системами трещиноватости.

Петрохимический критерий. Наиболее перспективны для концентраций флогопита с железистостью 10—14% полнодифференцированные массивы, содержащие мощные (l до 800 м, t до 100 м) залежи пирок-

сенизированных и мелилитизированных оливинитов (Ковдорский в Карело-Кольской провинции, Кугда в Маймечя-Котуйской). Массивы, характеризующиеся присутствием наряду с ийолит-мельтейгитами пироксенитов (Вуориярви, Себлявр, Карело-Кольская провинция) или мелилитовых пород (Гулинский, Маймечя-Котуйская провинция), благоприятны для нахождения более железистых слюд ($F_m=10-25\%$). Массивы, сложенные породами какой-либо одной петрографической серии, мало перспективны для нахождения промышленных залежей флогопита.

Зональность и глубина эрозионного среза. В массивах с прямой горизонтальной зональностью* слюдяная минерализация тяготеет к центру, а с обратной — к периферии. В связи с наличием вертикальной зональности наиболее перспективны среднеэродированные массивы (до глубины 3—5 км), содержащие как ультрабазиты, так и щелочные породы.

Месторождения комплексов докембрийских магнезиальных метаморфических пород (с аляскистыми гранитами)

Геолого-структурный критерий. Провинции приурочены к выходам блоков архейских или протерозойских пород: щитам, срединным массивам, внутригеосинклинальным поднятиям (см. табл. 1).

Фацциально-метаморфический критерий. Слюдяная минерализация присутствует на участках развития пород гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма, содержащих тела ультраметаморфогенных аляскитовых гранитов. Весьма благоприятны краевые зоны ареалов гранитизации.

Литологический критерий. Месторождения связаны с горизонтами, обогащенными высокомагнезиальными алюмосиликатными (пироксенсодержащими) или карбонатными (доломитовые мраморы) породами. Выделяется два типа слюдоносных тел: 1) согласные зоны метасоматических флогопит-диопсидовых пород; 2) секущие кальцит-флогопитовые жилы, выполняющие системы трещин лестничного типа. В свою очередь, среди метасоматических тел в зависимости от состава вмещающих пород выделяется ряд разновидностей, отличающихся по масштабу оруденения и качеству сырья. Наибольшие запасы флогопита наблюдаются в метасоматических телах, залегающих на участках проявления изоклинальной складчатости среди существенно пироксеновых гнейсов, сланцев и пироксеновых амфиболитов ($l=100-300$ м, $m=10-100$ м). Они характеризуются присутствием промышленных концентраций флогопита с железистостью 10—13%. Меньшие запасы имеют слюдяные залежи в гранитоидах ($F_m=8-10\%$). Тела, находящиеся среди мраморов или в зонах их контакта с гранитоидами, обладающие небольшими запасами слюды, представляют интерес лишь в связи с нахождением в них весьма дефицитного маложелезистого ($F_m=0,5-4\%$) флогопита. Состав жил выполнения не зависит от состава окружающих пород, а размещение определяется физико-механическими свойствами вмещающих толщ. Наиболее благоприятны для их нахождения относительно хрупкие породы: гранитоиды, амфиболиты, амфиболовые гнейсы. Жилы содержат высококачественный флогопит с небольшим числом включений ($F_m=5-8\%$). Однако в связи с малыми размерами ($l=10-50$ м, $m=2-5$ м) они наиболее благоприятны для эксплуатации в случае сочетания с метасоматическими залежами.

* При прямой зональности ультраосновные породы ранних фаз располагаются в центре, к периферии они сменяются более лейкократовыми породами поздних фаз формирования.

Формационный тип	Геологическая структура на познания	Состав вмещающих пород	Структура рудного поля	Парегенезис	Флогопитоносные провинции (массивы, рудные районы)	Возраст, млн. лет			
Комплексы докембрийских магнезиальных метаморфических пород (с аляскистыми гранитами)	Щиты, внутригеосинклинальные поднятия, срединные массивы	Глубинные разломы (в том числе линейные) в областях длительной стабилизации (100 млн. лет и более): на окраинах и в краевых швах платформ, срединных массивах и др.	Гранито-гнейсы, песчаники, диабазы, амфиболиты, мраморы, известняки (не влияют на состав интрузий и связанной с ними минерализации)	Определяется формой (конфокальные, трещинные тела) и характером горизонтальной (прямая, обратная) и вертикальной зональности интрузивов	Форстерит — диопсид — флогопит, диопсид — меллит — флогопит — кальцит, форстерит — флогопит — магнетит	Карело-Кольская (Ковдор, Вуориярви, Себь-ярв, Салмагорский, Саллангави)	610—390		
								Маймеча-Котуйская (Тулунский, Одихинча, Бор-Урях, Кутда)	245—225
								Восточно-Алданская (Арбарастах, Ингиги)	720—650
								Енисейская (Енисейский)	—
								Коччетавская (Красномайский, Варчинский, Павловский)	550—390
								Алданская (Тимптонский, Эльконский, Эмельджакский, Каталахский, Куронахский)	2200—1800
								Прибайкальская (Слюдянский)	935—610
Памирская (Дыжвардаринский, Даршайский)	1645—1015								

Таблица 1

ции месторождений флогопита СССР

Состав продуктивных комплексов, %	Форма и позиция флогопитоносных тел	Характеристика флогопита, его железистость, %		Запасы слюды	Сопутствующее оруденение
Оливиниты (10—15), пироксениты (60—70), ийолит-мельтейгиты (10), карбонатиты (5)	Подковообразные, линзовидные залежи в контакте ийолит-мельтейгитов с: 1) оливинитами (измененными) 2) пироксенитами 3) карбонатитами	12—14 16—20 38—40	Гиганто-, крупнокристаллический, много первичных включений	млн. т и тыс. т	Железо, апатит, форстерит, кальцит, вермикулит, Nb, Ta, TR, Zr
Дуниты (10—90), меллитолиты (15), пироксениты (10—15), ийолит-мельтейгиты (10—15), карбонатиты (3)	Линзовидные залежи: 1) в контакте щелочных пород с оливинитами, с мельтейгит-пироксенитами 2) зоны, линзы в меллитовых породах 3) пегматиты щелочные	12—14 16—22 14—23 28—41		сотни тыс. т	Железо, апатит, кальцит
Пироксениты (40), ийолит-мельтейгиты (30—40), сиениты (15), карбонатиты (5)	Подковообразные, линзовидные залежи в контакте сиенитов с пироксенитами	18—22		Средне-, мелкокристаллический, включения	тыс. т
Пироксениты (10—15), ийолит-мельтейгиты (60), нефелиновые сиениты, карбонатиты (30)	1. Линзы в пироксенитах 2. Зоны в контакте сиенитов с доломитами	18—25 14	Мелкокристаллический	тыс. т	Апатит, глинозем
Пироксениты (95), шонкиниты, сиениты, карбонатиты (единичные тела)	Линзы, зоны в пироксенитах	22—38	Мелкокристаллический	тыс. т	Вермикулит, апатит, меланит
Существенно пироксеновые гнейсы и сланцы, амфиболиты, мраморы, кальцифиры, граниты аляски-товые	1. Согласно зоны среди пироксеновых сланцев, гнейсов, амфиболитов, мраморов 2. Зоны в гранитах 3. Секущие жилы и гнезда в гранитах, диопсидовых породах	10—14 4—6 9—12 8—10	Крупно- и среднекристаллический, первичных включений мало, особенно в жилах выполнения, гнездах	млн. т	Железо
Пироксеновые, амфиболовые гнейсы, мраморы, кальцифиры, граниты аляски-товые	1. Секущие жилы в различных гнейсах, гранитах 2. Зоны в гранитах 3. Зоны в контакте гранитов с мраморами	4—6 5—9 0,5—4		десятки тыс. т	Апатит, лазурит
Амфиболовые, биотитовые гнейсы, мраморы, кальцифиры, граниты ортоклазовые	1. Зоны в контакте гранитов и мраморов 2. Зоны в гранитах	0,5—3 4—5	Среднекристаллический, мало включений	тыс. т	Лазурит

Следует отметить, что согласные залежи метасоматических пород характерны для участков земной коры, претерпевших ультраметаморфизм (Алданская провинция). Там, где этот процесс проявлен слабо (краевые зоны внутригеосинклинальных поднятий), преимущественно развиты секущие жилы выполнения (Слюдянский район Прибайкальской провинции).

Прогнозная оценка территории СССР

В настоящее время на территории СССР наиболее перспективными в отношении промышленной флогопитоносности представляются, как и раньше, Карело-Кольская и Алданская провинции. Помимо уже известных, здесь возможно выявление новых месторождений и проявлений (в полосе Кандалакшского грабена, на островах Ненексы, в районе Маврогубинской группы массивов — в Карело-Кольской провинции, в пределах Оюмрацкого рудного поля, а также на участках развития верхнеалданской и нижнесуннагинской свит — в Алданской провинции). Наряду с этим перспективной на флогопит представляется шарыжалгайская серия в Прибайкалье. При освоении севера Сибири необходимо дальнейшее изучение массивов щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов Маймеча-Котуйской провинции и комплексов высокомагнетизальных докембрийских метаморфических пород Анабарского щита.

Вермикулит *

Главнейшие формационные типы месторождений

Характеристика известных формационных типов месторождений вермикулита, выделенных по вещественно-структурным признакам, дана в табл. 2. Главными среди них представляются месторождения 1, 3 и 7—9 типов, имеющие большие запасы, а 1 и 3 также и высокое качество сырья. Особенностью месторождений 1-го типа, повышающей рентабельность их эксплуатации, является ассоциация с крупными месторождениями флогопита (ниже границы выветривания) и другими ценными видами сырья. Характерно при этом, что контуры вермикулитового оруденения существенно шире, чем флогопитового, так как в коре выветривания промышленную ценность имеет весь гидратированный флогопит, как кондиционный, так и мелкочешуйчатый, и железистый. Месторождения 3-го типа выгодно отличаются от остальных высоким средним содержанием вермикулита и концентрацией запасов на небольшой площади. Месторождения 7 и 9-го типов к настоящему времени изучены менее других. Однако несмотря на невысокое в основной массе качество сырья, они привлекают внимание благодаря широкому распространению на территории СССР и высокому содержанию в них полезного компонента. Это позволяет эффективно использовать их сырье после нетрудоемкого обогащения до грубого концентрата, а иногда и без обогащения, так как в ряде случаев находят применение и полезные свойства слюдосодержащей породы. Получаемые из этих руд строительные материалы нередко могут конкурировать с изготовленными на основе кондиционного термовермикулита.

Критерии прогнозной оценки на вермикулит

Прогнозирование и поиски новых месторождений вермикулита с заданными количественными и качественными параметрами должны проводиться с учетом особенностей геологического строения и закономер-

* Термин, применяемый на практике не только к собственно вермикулитам, но и ко всем вспучивающимся в разной степени гидратированным магнетизально-железистым слюдам.

ностей размещения месторождений различных формационных типов в структурах земной коры. На основании этих особенностей для разных этапов прогнозирования и поисков могут быть намечены следующие критерии.

Критерии выявления перспективных площадей.

1. Критерии, вытекающие из особенностей экзогенных процессов, — приуроченность всех месторождений вермикулита к сиаллитным корам выветривания, линейным или площадным, развитым на меланократовых слюдосодержащих породах в пределах щитов, срединных массивов и фанерозойских складчатых областей;

2. Критерии, обусловленные спецификой эндогенных процессов, для выявления зон распространения меланократовых слюдосодержащих пород. Эти критерии различны для слюдоносных пород, сформировавшихся в складчатых областях, на щитах и в срединных массивах.

Среди складчатых областей особенно благоприятны области симатического типа, а в них — антиклинорные зоны, где широко распространены высокометаморфизованные образования (7—9-й типы). Перспективны также зоны сочленения антиклинорных структур с синклинорными и, прежде всего, зоны долгоживущих разломов, где вероятнее всего сонахождение ультраосновных пород с более молодыми гранитоидными и щелочными интрузиями (тип 3).

В пределах щитов и срединных массивов значительно расширяются возможности выявления месторождений различных типов, в том числе 7 и 9-го типов. При этом, если для слюдосодержащих пород в месторождениях 7-го типа характерна локализация в зонах гранитизации, то в месторождениях 9-го типа породы располагаются на участках, где гранитизация и, следовательно, «разубоживание» биотита проявлены слабо. Кроме того, для обнаружения месторождений 1 и 4-го типов на щитах и в срединных массивах особенно перспективны зоны глубинных разломов, служивших путями поступления ультраосновной щелочной (1-й тип) и гранитоидной магмы (4-й тип).

Критерии поисков крупных концентраций первичных слюд в пределах площадей распространения слюдоносных пород. Локализация крупных скоплений первичных слюд в меланократовых породах может быть конкретизирована приуроченностью их к определенным разновидностям этих пород.

Из числа ультраосновных щелочных массивов наиболее перспективны массивы с полно проявленным рядом дифференциатов, среди которых широко распространены ультраосновные породы, особенно оливиниты. Основные скопления слюд локализуются в последних в зонах кольцевых контактов их со щелочными породами.

Из всего многообразия альпинотипных гипербазитов более благоприятны массивы, сочетающие в своем составе породы высокомагнезиальные (оливиниты, перидотиты, серпентиниты) и породы с более высоким содержанием Si и Al (пироксениты, габбро).

В гранитизированных и сиенитизированных гнейсо-амфиболитовых комплексах максимальные скопления слюд характерны для зон, переходных от меланократовых, существенно амфиболовых (7-й тип) или пироксеновых пород (8-й тип) к лейкократовым — гранито- или сиенито-гнейсам.

Критерии поисков промышленных вермикулитовых руд в зонах концентраций первичных слюд.

1. Критерии, связанные с экзогенными процессами, — наличие в линейных или площадных корях выветривания мощных продуктивных на вермикулит зон (вермикулитовой, гидрофлогопитовой, гидробиотитовой), благоприятных для выявления крупных месторождений;

2. Критерии, связанные с эндогенными процессами, определяют зависимость степени гидратации слюд от содержания в них F и Fe²⁺

Характеристика формационных типов

Группа формаций	Вермикулит-гидрофлогопитовые и гидробiotитовые руды в ультраосновных, щелочных и основных щелочных комплексах		Вермикулит-гидрофлогопитовые и гидробiotитовые руды в гипербазитах и базитах складчатых областей в ассоциации с гранитоидами и щелочными породами	
Формационные типы месторождений	Вермикулит-гидрофлогопитовый в комплексах ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (1-й тип)	Гидробiotитовый в комплексах калиевых основных щелочных пород (2-й тип)	Вермикулит-гидрофлогопитовый в альпинитиновых гипербазитах в ассоциации с орогенными гранитоидами и щелочными породами (3-й тип)	Гидробiotитовый в габброидах в ассоциации с гранитами периода активизации (4-й тип)
Структурно-геологическая позиция месторождений	Зоны глубинных разломов в областях длительной стабилизации: на щитах, платформах, в срединных массивах, стабилизированных складчатых областях	Зоны глубинных разломов в стабилизированных складчатых областях	Зоны глубинных разломов в эвгеосинклинальных частях складчатых областей (антиклинорные поднятия и пограничные районы)	Зоны разломов в пределах щитов
Парагенезисы первичных слюд (исходных для образования вермикулита)	1) Оливин — диопсид — флогопит; 2) керсутит — флогопит; 3) диопсид — апатит — гранат — флогопит (биотит),* 4) хромдиопсид — ортоклаз (амфибол — апатит) — флогопит	Альбит — роговая обманка — биотит	1) Амфибол — плагиоклаз — щелочной полевой шпат — флогопит; 2) тальк — хлорит — актинолит — флогопит	Плагиоклаз — роговая обманка — сфен — биотит (флогопит)
Локализация слюдяной минерализации	Кольцевые зоны вдоль контактов ультраосновных и щелочных пород; рассеянная вкрапленность и гнезда в линейных телах пироксенитов	Рассеянная вкрапленность и гнезда в щелочных габброидах	Жилы и околопегматитовые оторочки в серпентинитах; рассеянная вкрапленность и гнезда в пироксенитах	Рассеянная вкрапленность, гнезда и линзы в зонах вторичного расщелачивания габброидов
Типы кор выветривания, перспективных на вермикулит	Сиаллитные коры выветривания, площадные и линейные,			
Парагенезисы вторичных слюд	Сунгулит — гидрохлорит — сапонит (каолинит — монтмориллонит) — гидрофлогопит — вермикулит	Монтмориллонит — гидробiotит	Каолинит — монтмориллонит — нонтронит — гидрофлогопит — вермикулит	Каолинит — монтмориллонит — нонтронит — гидробiotит — вермикулит
Продуктивные на вермикулит зоны в коре выветривания	Вермикулитовая, гидрофлогопитовая	Гидробiotитовая	Вермикулитовая, гидрофлогопитовая	Гидробiotитовая

* В скобках заключены минералы второстепенного значения.

месторождений вермикулита

Вермикулит-гидрофлогопитовые руды в метаморфических комплексах магnezиальных карбонатных и алюмосиликатных пород в ассоциации с аляскитовыми гранитами		Гидробиотитовые руды в гнейсово-амфиболитовых и гнейсово-сланцевых комплексах		
Вермикулит-гидрофлогопитовый в магnezиальных скарнах (5-й тип)	Гидрофлогопитовый в комплексах магnezиальных карбонатных и алюмосиликатных пород (6-й тип)	Гидробиотитовый в гранитизированных гнейсово-амфиболитовых комплексах (7-й тип)	Гидробиотитовый в сиенитизированных гнейсово-амфиболитовых комплексах (8-й тип)	Гидробиотитовый в меланократовых биотитовых гнейсах и сланцах (9-й тип)
Синклинальные зоны в складчатых областях	Внутригеосинклинальные поднятия в древних складчатых структурах	Щиты, срединные массивы и антиклинорные зоны складчатых областей		
		Зоны гранитизации	Зоны сиенитизации	Зоны слабой гранитизации
Шпинель — диопсид (роговая обманка) — флогопит	1) Скаполит — диопсид (амфибол) — флогопит; 2) апатит — кальцит — диопсид — флогопит	Плагиоклаз — роговая обманка — кварц — биотит	Пироксен — щелочный полевой шпат — нефелин — сфен — кальцит — биотит	Гранат — ставролит — кварц — олигоклаз — биотит
Внешние зоны магnezиальных эндоскарнов	Жилы и метасоматические тела в алюмосиликатных породах	Протяженные пластообразные зоны существенно биотитовых пород, чередующихся с меланократовыми (амфиболовыми или пироксеновыми) и лейкократовыми породами (гранито- или сиенито-гнейсами)		Протяженные пласты меланократовых биотитовых гнейсов и сланцев, чередующихся с более лейкократовыми

развитые на меланократовых слюдосодержащих породах

Гидрофлогопит — вермикулит	Гидрофлогопит — вермикулит	Каолинит — гидробиотит — вермикулит	Каолинит — монтмориллонит — гидробиотит — вермикулит	Каолинит — гидробиотит — вермикулит
Вермикулитовая, гидрофлогопитовая	Гидрофлогопитовая	Гидробиотитовая		

Группы формаций	Вермикулит-гидрофлогопитовые и гидробиотитовые руды в ультраосновных, щелочных и основных щелочных комплексах		Вермикулит-гидрофлогопитовые и гидробиотитовые руды в гипербазитах и базитах складчатых областей в ассоциации с гранитоидами и щелочными породами	
Формационные типы месторождений	Вермикулит-гидрофлогопитовый в комплексах ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (1-й тип)	Гидробиотитовый в комплексах калиевых основных щелочных пород (2-й тип)	Вермикулит-гидрофлогопитовый в альпинитипных гипербазитах в ассоциации с орогенными гранитоидами и щелочными породами (3-й тип)	Гидробиотитовый в габброидах в ассоциации с гранитами периода активизации (4-й тип)
Особенности химизма первичных слюд, обуславливающие степень их гидратации	(в порядке перечисления выше) 1 и 4) $f_{\text{общ}}=9-13$ до 25%, $F=0-0,9\%$; 2) $f_{\text{общ}}=25-38\%$, $F=0-1,78\%$; 3) $f_{\text{общ}}=17-40$ до 53%, $F=0-0,3\%$	Нет сведений	$f_{\text{общ}}=10-36\%$, $F=0,2$, иногда до 3,6%	$f_{\text{общ}}=29-44\%$; $F=0-0,7\%$, $FeO=13-15\%$
Степень гидратации слюд, содержание вермикулитовых слоев (%)	5, 10, 30, 30-50, 100*	Нет сведений	5, 10, 15, 20, 30, 30-50, 50, 100	5, 10, (100)
Объемный вес вермикулита (кг/м ³)	70-200, (200-400)	75-200, 200-460	90-200, (350)	300-450
Среднее содержание вермикулита в руде (%)	7-16, (35-40)	8-13	50-65, (10-15)	20-25
Масштабы месторождений	Крупные и средние	Средние	Мелкие, средние, крупные	Средние и крупные
Примеры месторождений	Ковдорское, Вуориярви, Африканда (Кольский п-ов), Кокшаровское (Приморье), Барчинское и др. (Северный Казахстан), Инагли (Алдан), Либби (США); Лулекоп (ЮАР)	Кулантау, Ирису и др. (Южный Казахстан)	Булдымское, Субутакское (Урал), Каратаское (Мугоджары), Андреевское (Западное Приазовье), Караганское (Восточный Саян), Дей Бук и др. (США), Чатра и др. (Индия), Юнг Рива (Австралия)	Каменные Могилы (Западное Приазовье), Центральный Техас (США)

* Выделены преобладающие разновидности гидратированных слюд, в скобках здесь

Вермикулит-гидрофлогопитовые руды в метаморфических комплексах магнезиальных карбонатных и алюмосиликатных пород в ассоциации с аляскитовыми гранитами		Гидробиотитовые руды в гнейсово-амфиболитовых и гнейсово-сланцевых комплексах		
Вермикулит-гидрофлогопитовый в магнезиальных скарнах (5-й тип)	Гидрофлогопитовый в комплексах магнезиальных карбонатных и алюмосиликатных пород (6-й тип)	Гидробиотитовый в гранитизированных гнейсово-амфиболитовых комплексах (7-й тип)	Гидробиотитовый в сиектитизированных гнейсово-амфиболитовых комплексах (8-й тип)	Гидробиотитовый в меланократовых биотитовых гнейсах и сланцах (9-й тип)
$f_{\text{общ}}=6-14\%$; $F=0-0,17\%$	$f_{\text{общ}}=3-19\%$; $F=0,03-6,8\%$	$f_{\text{общ}}=20-70$; $F=0,33-0,53\%$; $FeO=9-16$ до 20%	$f_{\text{общ}}=50-60\%$; $F=0-0,7\%$; FeO —до 10, реже 15%	$f_{\text{общ}}=40-55\%$ до 77% $F=0-1,2\%$; $FeO=12-27$, чаще 15—20%
50, 100	10, 20, 30—50, (100)	Нет сведений	5, 10, 30, 50, (100)	5, 20, (100)
70—1000 (без обогащения)	60—400	200—600 (без обогащения)	90—380	110—450 до 840
10—15	3—10 до 18	25—70	25—30	25—40
Средние	Мелкие и средние	Крупные и средние	Крупные	Крупные и средние
Размановское (Восточный Саян)	Слюдянка, Стенливилль (Канада), Ситарампур (Индия); Пхосу и др. (Северная Корея)	Тебинское (Западная Сибирь), Лесозаводское и др. (Приморье), Маанинка (Финляндия), Кинайки (Африка)	Потанинское (Средний Урал)	Родионовское (Западное Приазовье), Татьяновское (Приморье) и др., Прохатице и др. (ЧССР)

и ниже заключены второстепенные числовые характеристики.

Состояние минерально-сырьевой базы и перспективы территории СССР на вермикулит
(запасы в млн. т)

Регион, месторождение	Формационный тип месторождения (см. табл. 2)	Запасы вермикулита* выявленные прогнозные	Геологические предпосылки выявления новых месторождений	Перспективный тип месторождения	Прогнозные запасы возможных месторождений** (млн. т)
<i>Кольский п-ов</i> Ковдорское, Вуориярви, Африканда, Салланлатви	1	Около 50 Боле 20	Наличие более 15 массивов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, не изученных на вермикулит, ослюденных гипербазитов (в ореолах ультраосновных щелочных массивов) и площадей гранитизации амфиболитов. Широкое развитие кор выветривания	1, 3, 7	Десятки
<i>Урал и Мугоджары</i> Потанинское, Субутакское, Каратасское	3 и 8	Боле 6 Боле 35	Наличие протяженных поясов (около 20) гипербазитов в ассоциации с более молодыми нормальными гранитоидами и обширных площадей гранитизации амфиболитов вдоль восточного склона Среднего и Южного Урала (20—70% биотита). Широкое развитие кор выветривания	3 и 7	Сотни
<i>Северный Казахстан</i> Барчинское, Красномайское, Павловское	1	5 20	Наличие не изученных на вермикулит ультраосновных щелочных массивов в Красномайской зоне и площадей (20—150 км ²) гранитизированных амфиболитов (содержание биотита 10—25%, мощность коры выветривания от 10 до 100 м, небольшие наносы)	1 и 7	Десятки
<i>Южный Казахстан</i> Кулан, Ирису	2	2 Боле 10	Наличие не изученных на вермикулит массивов щелочных габброидов (Каннды и др.), аналогичных массивам с известными месторождениями вермикулита	2	Единицы
<i>Приморье</i> Кокшаровское, Лесозаводское, Кировское, Татьяновское	1, 7 и 9	5 6—7	Наличие в пределах Ханкайского массива меланократовых биотитовых гнейсов и сланцев (полоса протяженностью 150—200 км, шириной 5—15 км). Мощность коры выветривания 20—150 м, содержание гидробиотита 30—70%	7 и 9	"
<i>Украина</i> Каменные Могилы, Андреевское, Родионовское, месторождения Побужья	3, 4 и 9	4,5 Боле 10	Наличие многочисленных мелких тел древних ослюденных гипербазитов в Приазовье, Побужье, Криворожье и там же больших площадей меланократовых биотитовых гнейсов. Мощность коры выветривания 10—60 м, содержание гидробиотита от 20 до 50%	3, 4, 9	Десятки
<i>Сибирь</i> Тебинское, Размановское, Караганское, Инаглинское	1, 3, 5 и 7	3,8 3	Широкое распространение в Саянах, Кузнецком Алатау, Туве, Байкальской складчатой области докембрийских гипербазитов в ассоциации с более молодыми нормальными гранитоидами. Обширные поля гранитизации в Мамском и Алданском районах, хребтах Становом, Хингане, Джугджур. Наличие в этих регионах кор выветривания	3 и 7	Сотни

* По данным поисково-разведочных работ.

** По оценке авторов.

(обратная зависимость) и позволяют оценить как качество технического вермикулита, так и саму возможность формирования его промышленных концентраций. Наиболее ценные в промышленном отношении вермикулитовые руды образуются за счет крупных скоплений малофтористых (менее 1% F) и маложелезистых слюд ($f_{\text{общ}}$ не более 35%, FeO не более 10—15%).

С учетом изложенных выше критериев прогноза нами выделены на территории СССР перспективные площади и регионы для поисков новых месторождений вермикулита и произведена их приблизительная прогнозная оценка (табл. 3). При этом наряду с геологическими факторами учитывались и экономические, в совокупности обуславливающие рентабельность и целесообразность разработки месторождений для тех или иных целей.

Ю. Е. Рыцк, А. С. Никаноров, В. А. Бабошин

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУСКОВИТА

Структура потребления слюды-мусковита промышленностью в последние годы претерпела значительные изменения: резко упал спрос на щипаную слюду (т. е. среднеразмерный мусковит низкого и среднего качества), возросло потребление высококачественного мусковита для телевизионных и радиотехнических изделий, наметился рост потребности в мусковите для слюдинита и слюдяной муки, исходным сырьем для которых могут быть кристаллы любой размерности, вплоть до чешуйки, но при условии их невысокой стоимости. В связи с этим горные предприятия оказались недостаточно обеспеченными запасами высококачественного мусковита, что обусловило переориентацию геолого-разведочных работ на поиски и разведку месторождений радиотехнической и телевизионной слюды. Соответственно деятельность научных организаций должна быть направлена на разработку критериев для оценки потенциально слюдоносных площадей на высококачественный мусковит и выделение районов, перспективных в отношении слюды как сырья для заменителей и слюдяной муки. Поэтому сложившаяся ранее система поисковых признаков и оценочных критериев нуждается в уточнении и детализации.

Формационные типы месторождений мусковита

Все промышленные месторождения крупнокристаллического мусковита связаны с гранитными пегматитами. Согласно классификации А. И. Гинзбурга и Г. Г. Родионова (1960), гранитные пегматиты делятся на 4 формации: редкоземельные, муковитовые, редкометалльные и хрусталеносные. Формация мусковитовых пегматитов, в свою очередь, может быть разделена на несколько субформаций: кварцево-полевошпатовую (керамическую), мусковито-керамическую, мусковитовую и редкометалльно-мусковитовую, краткая характеристика которых приведена в таблице.

Высококачественный мусковит извлекается только из пегматитов мусковитовой субформации, образовавшихся за один генетический цикл. В небольших количествах низкосортный мусковит дают слюдяно-керамические пегматиты. Редкометалльно-мусковитовые пегматиты могут содержать высокие концентрации сильно ольчатого и клиновидного мусковита, пригодного для заменителей и помолта.

Полициклические пегматиты представляют собой особую разновидность рудных тел, в пределах которых пространственно совмещена раз-

Месторождения формации мусковитовых пегматитов

Субформация пегматитов	Возраст	Контролирующие структуры		Метаморфизм вмещающих пород	Особенности состава вмещающих пород	Форма рудных тел	Особенности минерального состава пегматитов	Качество мусковита	Сопутствующая промышленная минерализация
		региональные	локальные						
Мусковитовых	Протерозой	Складчатые зоны в обрамлении древних жестких массивов	Тектонические блоки фундамента. Зоны разрывных нарушений, параллельных швам фундамента. Антиклинальные складки	Амфиболитовая фация дистенсиллиманитовой фациальной серии	Преобладают слюдяные плагиогнейсы (содержание слюды не менее 15%)	Плитообразные, линзообразные секущие (реже согласные) жилы и сложенные тела	Плагиоклазы № 10—25. Микроклин белого и кремового цвета. Характерные акцессории: карбуран	Высокое и среднее	Микроклин (керамическое сырье)
Мусковито-керамических	Архей — протерозой			Амфиболитовая фация дистенсиллиманитовой фациальной серии					
Редкометалльно-мусковитовых	Протерозой и моложе	Периферическая часть древних складчатых областей	Оперяющие системы крупных разломов, входящие в консолидированные участки. Складчатые структуры	Амфиболитовая фация андалузитсиллиманитовой фациальной серии с явлениями локального диафореза	Разнообразные по составу гнейсы и сланцы, нередко подверженные явлениям повторного рассланцевания, катаклаза, милонитизации, сопровождающихся мусковитизацией, эпидотизацией и другими процессами	Дайкообразные секущие тела	Олигоклаз, альбит, клевеландит, микроклин красноватых тонов. Характерные акцессории: ниобо-танталаты, берилл	Низкое	Руды редких металлов, возможно микроклин
		Стыки разнородных структур, долгоживущие разломы	Долгоживущие тектонические зоны						

новозрастная минерализация: на ранее возникшие пегматиты одной субформации накладывается метасоматическая минерализация, характерная для другой субформации. Имеют широкое распространение два варианта полициклических слюдоносных жил: на пегматиты мусковитовой субформации накладывается новая редкометально-мусковитовая минерализация и, наоборот, на редкометально-мусковитовые пегматиты накладывается слюда, характерная для пегматитов мусковитовой формации. В силу приуроченности полициклических пегматитов к тектонически активным зонам качество мусковита в них обычно низкое.

Критерии прогнозной оценки метаморфических комплексов на пегматиты различных субформаций

Субформация мусковитовых пегматитов. Ценность мусковита, как природного высококачественного электроизоляционного материала, определяется, с одной стороны, условиями его возникновения и роста, а с другой — его сохранностью с момента образования до извлечения из недр. Поэтому в число критериев, используемых при прогнозной оценке территорий на высококачественный мусковит, кроме признаков, позволяющих оценить возможность появления месторождений мусковита в той или иной геологической обстановке, входят и критерии, помогающие определить степень сохранности сырья (размера кристаллов и их электротехнических свойств).

Возникновение и размещение мусковитовых пегматитов определяется возрастом, литологическим составом вмещающих толщ, характером и степенью метаморфизма, тектоникой. Сохранность и тип преобразования мусковита контролируется пострудными тектоникой и метаморфизмом.

Каждый из перечисленных факторов осуществляет контролирующее влияние на возникновение и локализацию мусковитовых пегматитов на самых различных уровнях: от размещения мусковитовых провинций до формирования отдельных пегматитовых жил.

а) Возраст. Пегматиты, содержащие высококачественный мусковит, приурочены только к метаморфическим толщам архейского и протерозойского возраста. Возраст пегматитов датируется главным образом как протерозойский.

б) Тектонические критерии. Пегматитоносные провинции объединяются в протяженные пояса, располагающиеся на обрамлении древних жестких массивов. Пространственно они совпадают со складчатыми зонами, ограниченными глубинными разломами, в пределах которых на складчатом и ранее метаморфизованном фундаменте залегают дислоцированные метаосадочные толщи флишoidного и аспидно-сланцевого типа.

Во времени пегматиты формировались вслед за завершающим этапом складчатости и регионального метаморфизма толщ верхнего структурного этажа. По простиранию структурно-тектонических зон пегматитовые поля образуют продольную цепь, звенья которой ограничиваются контурами тектонических блоков, заложенных в фундаменте.

Общий рисунок распределения кустов пегматитовых жил совпадает с направлением нарушений фундамента, а отдельные пегматитовые поля вписываются в границы антиклинальных складчатых структур, сложенных продуктивными породами. В пределах рудных полей пегматитовые жилы группируются в продольные и поперечные зоны, контуры которых, кроме разрывной тектоники, определяются различиями физико-механических свойств метаморфических пород.

Морфология рудных тел и условия их залегания в сильной степени зависят от состава и текстуры вмещающих пород: среди грубозернистых сланцеватых гнейсов располагаются кососекущие протяженные

тела сложной морфологии, в мелкозернистых слабо сланцеватых гнейсах локализуется лестничный тип простых по форме жил.

в) **Метаморфизм.** Распространение мусковитовых пегматитов, содержащих промышленную слюду высокого качества, ограничено площадями развития пород древних (архейских и протерозойских) метаморфических комплексов моно- и полиметаморфических типов. Количество этапов метаморфизма, предшествовавших появлению мусковитовых пегматитов, может быть различным, однако метаморфизм, с которым связано образование мусковитовых пегматитов, должен отвечать условиям амфиболитовой фации дистен-силлиманитовой фацальной серии.

Обычно гнейсы, вмещающие мусковитовые пегматиты, превращены в венитовые неанатектонидные мигматиты. Проявление анатексиса во вмещающих толщах, возникновение очагов анатектических гранитов следует рассматривать как отрицательный признак — слюдоносные пегматиты локализуются на значительном удалении от таких очагов.

Пострудный метаморфизм во всех формах его проявления (прогрессивный или регрессивный) оказывает резко отрицательное влияние на качество мусковита. Признаки его проявления — силлиманитизация мусковита в пегматитах, альбитизация пегматитов, появление низкотемпературного яблочно-зеленого мусковита и т. п., — должны рассматриваться как отрицательные указания для сохранения высококачественной промышленной слюды. В случае обнаружения этих признаков необходимо установить форму проявления пострудного метаморфизма: связан ли он с узко локализованными зонами нарушений или носит региональный характер. В последнем случае оценка площадей, захваченных пострудным метаморфизмом, зависит от степени его проявления, но почти всегда неблагоприятна для обнаружения высококачественной слюды.

г) **Литология.** По первичному литологическому составу толщи метаморфических пород, вмещающие мусковитовые пегматиты, соответствуют вулканогенно-осадочным отложениям, близким к флишоидной и аспидно-сланцевой формациям. Продуктивными для мусковитовых пегматитов считаются гранато-биотитовые, кианито-гранато-биотитовые, мусковитовые, двуслюдяные плагиогнейсы и сланцы, содержащие не менее 15% слюд. Непродуктивные породы содержат амфибол, пироксены и микроклин. Благоприятными для появления мусковитовых пегматитов могут считаться разрезы, в составе которых содержится не менее 60—70% продуктивных пород.

По химическому составу продуктивные породы должны содержать не более 4% K_2O и не более 14% суммы железо-магнезиальных оксидов. Содержание структурной воды должно быть не менее 1%. При общих благоприятных показателях вмещающей толщи породы, непосредственно включающие тела мусковитовых пегматитов, могут иметь иной состав (например, тела габбро-амфиболитов, горизонты кристаллических известняков и др., залегающих в продуктивных образованиях).

Субформация мусковито-керамических пегматитов. Пегматиты этой субформации локализуются в тех же структурно-тектонических зонах, что и мусковитовые пегматиты, но приурочены главным образом к микроклинсодержащим амфиболовым породам, занимающим более низкое положение в разрезе метаморфических пород.

Субформация редкометалло-мусковитовых пегматитов. В отличие от мусковитовых пегматитов они образуются в более широком временном интервале. По структурно-тектонической позиции они образуют или самостоятельные пояса, или располагаются в тех же структурно-металлогенических зонах, что и мусковитовые пегматиты, но приурочены к периферической их части, тяготеют к мобильным в тектоническом отношении участкам. Благоприятны для распространения пегматитов

этого формационного типа выступы глубоко метаморфизованного докембрийского фундамента или срединные массивы среди фанерозойских складчатых областей.

Благоприятно для распространения редкометалльно-мусковитовых пегматитов проявление регионального метаморфизма амфиболитовой фации андалузит-силлиманитовой фациальной серии. Характерна многократность повторения тектонических деформаций, сопровождающихся повторной минерализацией ранее возникших пегматитов (полициклические пегматиты) и метаморфизмом вмещающих пород, что выражается в альбитизации, повторной мусковитизации, турмалинизации и окварцевании пегматитов; при этом нередко обнаруживается будинаж и частичное рассланцевание рудных тел и интенсивная мусковитизация и рассланцевание вмещающих пород.

Непегматитовые источники мусковита. Перспективным самостоятельным источником мелкочешуйчатого мусковита для помола и слюдинита могут служить мусковитовые граниты и мусковитовые сланцы. Находка таких пород возможна в зонах интенсивного проявления относительно низкотемпературного диафореза амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и, возможно, зеленосланцевой фаций, наложенного на крупные массивы лейкократовых пород.

Оценка перспектив территории СССР на слюду-мусковит

1. Поисково-съёмочные работы на высококачественный мусковит следует сосредоточить на территориях: а) широкого развития докембрийских метаморфических комплексов, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации дистен-силлиманитовой фациальной серии и содержащих толщи слюдяных плагиогнейсов; б) в пределах рекомендуемых территорий не должны фиксироваться последствия активной тектонической и метаморфической пострудной переработки. Этим условиям, по имеющимся данным, отвечают (кроме Беломорской и Мамской слюдоносных провинций) южное обрамление Алданского щита и зоны метаморфизма амфиболитовой фации в пределах Анабарского щита.

2. В части районов развития древних метаморфических комплексов, подвергшихся постпегматитовой переработке, сохранились отдельные блоки, не затронутые пострудной тектоникой и метаморфизмом. К таким районам можно отнести Енисейский кряж, Восточный Саян, Восточное Прибайкалье, отдельные участки Украинского кристаллического массива, Кокчетавскую глыбу.

3. К областям, перспективным на низкокачественный мусковит, связанных с субформацией редкометалльно-мусковитовых пегматитов, следует отнести: периферические части беломорской пегматитовой провинции, юго-восточную часть Кольского полуострова, Северное Прибайкалье, Таймырскую пегматитовую провинцию, блоки докембрийского фундамента в областях фанерозойской складчатости (Мугоджары и Урал, Южный Памир), области и зоны проявления регионального метаморфизма амфиболитовой фации в фанерозойских складчатых областях (Туркестанский хребет, восточная часть Киргизского хребта). В этих случаях мусковит может являться объектом попутной добычи при разработке месторождений на редкие металлы.

А. А. Иванова, А. Т. Соловьев, Ю. И. Михайлова,
М. М. Сомов, Ф. В. Старицын

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФЛЮОРИТА

Общий объем потребления флюорита в стране в настоящее время достиг больших размеров, а к концу семидесятых годов, в соответствии с перспективным планом развития народного хозяйства, возрастет

Характеристика основных флюоритовых формаций

Формация \ Характеристика	Флюоритовая	Полиметаллически-флюоритовая	Ртутно-сурьмяно-флюоритовая	Редкометалльно-флюоритовая	Бериллиево-флюоритовая	Редкоземельно-флюоритовая			Ратовкитовая
						I тип	II тип	III тип	
Минеральные типы	1. Кварц-флюоритовый 2. Барит-кальцит-кварц-флюоритовый 3. Флюоритовый 4. Пирит-марказит-флюоритовый 5. Кварц-кальцит-флюоритовый	1. Галенит-флюоритовый 2. Галенит-сфалерит-флюоритовый 3. Сульфидно-флюоритовый (галенит, сфалерит, халькопирит и др.) 4. Кальцит-флюоритовый 5. Барит-сульфидно-флюоритовый и др.	1. Киноварь-флюоритовый 2. Киноварь-антимонит-флюоритовый 3. Антимонит-флюоритовый	1. Топаз-флюоритовый с тантало-ниобатами 2. Фенакит-флюоритовый 3. Вольфрамит-молибденит-флюоритовый 4. Касситерит-силикатно-флюоритовый	Берtrandит-фенакит-флюоритовый	Кальцит-анкерит-флюоритовый с карбонатами редких земель	Сидерит-барит-флюоритовый с фторокарбонатами редких земель	Карбонат-флюоритовый	Ратовкит-флюоритовый
Метасоматические изменения	Аргиллизация, ортоклазизация, карбонатизация, окварцевание	Окварцевание, доломитизация, альбитизация	Окварцевание, хлоритизация, серицитизация	Скарнирование, грейзенизация, альбитизация	Скарнирование, альбитизация, микроклинизация	—	—	—	—
Морфология	Жилы, зоны брекчий, метасоматические залежи	Метасоматические залежи, жилы	Метасоматические залежи	Метасоматические залежи, штокерковые прожилковые зоны	Залежи, прожилковые зоны	Вкрапленность и гнездообразные тела	Трубообразные залежи, гнездообразные тела	Метасоматические залежи	Линзы, пластовые залежи, вкрапленность
Генетические типы	(средне- и низкотемпературный)	Гидротермальный (средне- и низкотемпературный)	(низкотемпературный)	Пегматитовый, грейзеновый, гидротермальный (высоко- и среднетемпературный)	Скарновый гидротермальный (высокотемпературный)	Карбонатитовый	Скарновый	Гидротермальный (средне- и низкотемпературный)	Седиментогенный
Максимальные содержания CaF_2 , %	85	50	25	65	35	22	10	60	20
Максимальные запасы месторождений, млн. т CaF_2	Обычно до 1, иногда до 8 (Таскайнар Южный)	1	0,3	12	0,5	0,8	4,4	1,2	Непромышленное
Сорт руд	Металлургический Химический Для выплавки оптического флюорита			Оптический	Химический				
Типы руд	Собственно флюоритовые	Собственно флюоритовые и комплексные	Комплексные руды	В основном комплексные, реже собственно флюоритовые	Комплексные руды			В основном собственно флюоритовые	Комплексные со стронцием

Геотектонический	Главные геотектонические элементы	Области завершённой складчатости	Геосинклинально-складчатые области				Геосинклинально-складчатые области	Краевые части платформ	Платформы	
	Этап развития	Постгеосинклинальный Постконсолидационный этап тектоно-магматической активизации						Постинверсионный	Платформенный	
Структурный	Трещины оперения региональных разломов, борта наложенных впадин	Орогенные поднятия, разломы, сопряженные с глубинными	Орогенные поднятия, глубинные разломы	Купольные структуры, контракционные трещины и зоны трещиноватости в экзоконтакте массивов	Зоны трещиноватости в приконтактовых частях интрузивных массивов	Региональные разломы и сопряженные с ними трещины	Орогенные поднятия. Трещины, сопряженные с глубинными разломами	Орогенные поднятия, зоны глубинных разломов	—	
Магматический	Формация	Липарит-базальтовая, липаритовая	Неясна	Неясна	Гранит-лейкогранитовая	Щелочных гранитов и сиенитов	Щелочно-ультраосновная с карбонатитами	Щелочных габброидов и лампрофиров, щелочных и нефелиновых сиенитов	Щелочных габброидов	—
	Удаленность месторождений	До 15 км от полей вулканогенных пород и в самих эффузивах	Неясна	Неясна	В самих массивах и в небольшом удалении от них	В экзоконтакте интрузий, в удалении до 1 км	В самих массивах	В зонах развития интрузий	В зонах развития интрузий	—
Фактор среды	Карбонатные породы, сиениты, граниты и др.	Карбонатные породы, гранитоиды	Карбонатные породы			Карбонатиты	Интрузивные породы разного состава	Карбонатные породы, эффузивы	Карбонатные отложения начальной стадии засоления бассейна	
Возраст	Pz ₃ , K ₁ , K ₂ , Pg, Pg—N	PR ₃ , Pz ₂ , Pz ₃	Pz ₃	Pz ₁ , Pz ₃ , J ₁ , J ₃	J ₁	Pz ₂	D	Pz ₃	PR ₂ , E, S ₂ , C ₁ , P (?), J ₂	
Области распространения и примеры месторождений	Восточное Забайкалье (Солнечное, Усугли, Калангуй и др.), Западное Забайкалье (Наран, Хурай и др.), Чукотка, Охотский массив, Казахстан (Таскайнар Южный)	Пайхой (Амдерма), Прибайкалье (Таборное), Средняя Азия (Наугарзан, Чашлы, Такоб и др.), Колымский массив (Битум-Сдвиг)	Северный Тянь-Шань (Хайдаркан)	Приморье (Пограничное, Вознесенское), Казахстан (Солнечное), Забайкалье (Джидинское рудное поле, Лово-Ингодинское), Хабаровский край (Хинганское), Полярный Урал (Лонгот-Юган)	Западное Забайкалье, Саяны	Присяянье (Больше-Тагнинское)	Украина (Суцано-Пержанская и Бердянская зоны), Северный Тиман, Тува	Украина (Покрово-Киреевское)	Московская синеклиза, Днепровско-Донецкая впадина, Сибирская платформа, Средняя Азия	
Экономическое значение (место, занимаемое по величине выявленных запасов)	II	III	VI	I	V	IV		VII		

вдвое. Это создает дефицит, который не может быть покрыт путем одной только интенсификации добычи флюорита на известных промышленных месторождениях. Возникает необходимость в открытии новых промышленных флюоритовых месторождений. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос о критериях прогнозной оценки новых и переоценки старых, экономически освоенных районов, а также задача оценки масштаба рудных объектов с целью выявления новых крупных месторождений.

Одним из наиболее эффективных методов решения этих задач является формационный анализ: разработка схемы формационной классификации флюоритовых месторождений, определение главнейших типов флюоритоносных формаций и анализ их связи с геологическими формациями. В этом плане авторами и рассматриваются главнейшие критерии прогноза флюоритовых месторождений и на основе их рассмотрения дается перспективная оценка территории СССР на флюорит, а также рекомендации по прогнозированию.

Формации флюоритовых месторождений и их особенности

В предлагаемой классификации выделяется семь формаций флюоритовых месторождений, которым даны названия по главным полезным компонентам руд: флюоритовая, ртутно-сурьмяно-флюоритовая, полиметаллически-флюоритовая, редкометалльно-флюоритовая, бериллий-флюоритовая, редкоземельно-флюоритовая и ратовкитовая. Формации различаются по минеральному составу руд и метасоматических пород, строению, а также генетическим и геохимическим особенностям месторождений, характеру связи с тектоническими процессами, магматизмом, положению в геологических структурах, возрасту и другим признакам (табл. 1). За исключением ратовкитовой, все остальные флюоритоносные формации имеют промышленное (хотя и различное) значение.

Промышленные месторождения флюорита сформировались в условиях различных температур и давлений. Высокотемпературные флюоритовые месторождения являются преимущественно комплексными редкометалльными и редкоземельными, средне-низкотемпературные — в основном полиметаллическими и собственно флюоритовыми. Наиболее широкий диапазон применения имеют руды средне-низкотемпературных месторождений, которые служат высококачественным сырьем для металлургической промышленности, а в некоторых случаях дают оптический флюорит. Руды высокотемпературных месторождений используются почти исключительно в химической промышленности.

По морфологическим признакам флюоритовые месторождения делятся на две группы: жильные, или тела выполнения, и метасоматические залежи. Первые локализуются в сложно построенных участках региональных разломов и оперяющих их крутопадающих разрывных нарушениях, главным образом в породах силикатного состава. Вторые характерны для карбонатных пород и приурочены преимущественно к межформационным зонам брекчий. Оптимальные условия для их локализации создаются в куполовидных структурах, в особенности при наличии экранирующих горизонтов пород (Таскайнар Южный).

Критерии прогнозной оценки месторождений

Формирование промышленных флюоритовых месторождений происходило в широком диапазоне времени — от позднего протерозоя до неогена. При этом почти во всех флюоритоносных провинциях устанавливается закономерная смена во времени высокотемпературных образований флюорита средне- и низкотемпературными.

В целом промышленное флюоритовое оруденение формируется в постинверсионную стадию развития геосинклиналей, преимущественно в геосинклинально-складчатых областях сиалического типа. Оно характерно также для периода тектоно-магматической активизации, проявившейся в областях завершённой складчатости сиалического типа (преимущественно в срединных массивах) и на щитах.

В размещении флюоритоносных зон различных формаций имеет большое значение структурный фактор — региональные долговременные разломы, обычно приуроченные к сочленению зон различной мобильности, и сводовые поднятия длительного развития.

Большинство флюоритовых месторождений ассоциируют во времени и пространстве с определенными магматическими формациями кислого и субщелочного типа: месторождения флюоритовой формации с липарит-базальтовой и липаритовой, месторождения редкометалльно-флюоритовой формации с гранит-лейкогранитовой и т. д. Наименее ощутима связь с проявлениями магматизма флюоритовых месторождений полиметаллически-флюоритовой и ртутно-сурьмяно-флюоритовой формаций, что позволяет относить их к телетермальным образованиям.

В ряде случаев установлена горизонтальная и вертикальная зональность месторождений, которая может быть использована и при прогнозной оценке флюоритовых проявлений уже на первом этапе их изучения.

Основную промышленную ценность в настоящее время представляют месторождения, относящиеся к флюоритовой и редкометалльно-флюоритовой формациям. Некоторые из этих месторождений, такие, как Вознесенка, Солнечное (редкометалльно-флюоритовая формация), Таскайнар Южный (флюоритовая формация) являются уникальными по своим размерам. Крупными запасами руд обладают также месторождения полиметаллически-флюоритовой формации. Месторождения других формаций в целом имеют подчиненное значение, хотя некоторые из них, например Покрово-Киреевское (редкоземельно-флюоритовая формация), являются крупными промышленными объектами.

Перечисленные особенности флюоритовых месторождений могут быть использованы как главные критерии их прогноза в региональном и более крупном масштабе. Некоторые из этих критериев являются общими, другие специфическими, отражающими принадлежность их к той или иной из выделенных флюоритоносных формаций.

Принципы и методика прогноза

Процедура прогноза сводится к анализу геологической обстановки и выделению конкретных регионов, в которых хорошо проявлены поздние этапы геосинклинального цикла развития или процессы тектоно-магматической активизации. В результате рассмотрения рудных и магматических образований и тектонической обстановки определяется формационная принадлежность известных флюоритовых месторождений и проявлений и на основании региональных рудоконтролирующих факторов выделяются перспективные площади в ранге поясов, зон и районов.

На этом этапе значительную помощь в работе может оказать применение математических методов. При разработке критериев прогнозной оценки флюоритового оруденения в Забайкалье традиционный геологический подход был дополнен использованием вероятностно-статистических и логико-информационных методов, что позволило: а) доказать обоснованность флюоритового оруденения от месторождений свинца и цинка, молибдена, мышьяка, золота и тем самым обосновать самостоятельность выделения флюоритовой формации; б) объективно выделить рудоконтролирующие факторы (РКФ)—геотектонический, структурный, магматический, литолого-петрографический, и дать количественную оценку их роли через коэффициенты экстенсивности, интенсивности, взаимо-

связи информационных и статистических факторных весов; в) выделить типы благоприятных геологических обстановок и дать формализованное описание условий локализации флюоритовых месторождений; г) произвести количественную оценку масштаба оруденения по основным металлогеническим признакам; д) классифицировать магматические образования, с которыми связано флюоритовое оруденение, и дать количественную характеристику их петрохимических особенностей.

В целом при прогнозировании главнейшие операции сводятся к следующему:

1) определению формационной принадлежности известных ранее и выявленных в процессе проведения съемочно-поисковых работ месторождений и проявлений;

2) выявлению и количественной оценке рудоконтролирующих факторов;

3) изображению рудоконтролирующих факторов на карте-накладке;

4) выделению благоприятных геологических обстановок и оконтуриванию флюоритоносных площадей: зон, узлов, полей;

5) рассмотрению разрушающих (геоморфологических) факторов;

6) выделению перспективных участков с учетом степени изученности территории;

7) количественной оценке перспективных участков и выработке предложений об очередности и методике поисково-съемочных и поисково-разведочных работ с учетом экономики региона.

В зависимости от масштаба прогнозирования рассмотрение рудоконтролирующих факторов производится на определенном уровне (табл. 2), поскольку, как это можно видеть на примере прогнозирования флюоритового оруденения в Забайкалье, каждому уровню описания рудоконтролирующих факторов соответствует определенный тип флюоритоносной площади: первому — рудоносные провинции и пояса (Западное и Восточное Забайкалье и др.), второму — зоны (Джида-Удинская, Тугнуйская, Хилокская в Западном, Газимурская, Уровская, Урюмканская и др. — в Восточном Забайкалье), третьему — узлы (Таширский, Хурайский, Тургинский, Усуглинский, Кличкинский и др.), четвертому — рудные поля (Наранское, Харасунское, Солнечное, Усуглинское и др.).

На этапе крупномасштабного прогнозирования на уровне рудных полей прогнозные операции сводятся: 1) к определению положения планшета в региональном металлогеническом плане; 2) к выяснению формационной принадлежности известных месторождений и проявлений; 3) к выявлению и оценке РКФ на четвертом уровне; 4) к построению прогнозной карты-накладки с нанесением РКФ и прогнозных площадей.

Для более обоснованной прогнозной оценки района целесообразно проведение геофизических и геоморфологических исследований с целью выявления благоприятных на флюоритовое оруденение структур; петрофизическое, петрохимическое и геохимическое изучение магматических пород для диагностики рудоносных образований; применение ряда геохимических методов с последующей математической обработкой полученных результатов для определения ореолов рассеяния фтора и сопутствующих элементов, а также выяснения связи фтора с другими элементами.

Оценка прогнозируемых флюоритоносных полей производится по методу аналогий с типовыми рудными полями соответствующих рудных формаций и учетом удельной рудонасыщенности. В дальнейшем необходима разработка методики анализа геологической обстановки, зафиксированной на карте (или серии карт) с помощью ЭВМ, позволяющих производить многомерное сопоставление и оценку исследуемой территории с эталонными рудоносными площадями.

Типизация рудоконтролирующих факторов в соответствии с масштабом прогнозирования для месторождений флюоритовой формации

Факторы	Прогнозирование													
	Обзорное 1 : 7 500 000—1 : 2 500 000	Региональное 1 : 1 500 000—1 : 1 000 000	Среднемасштабное 1 : 500 000—1 : 200 000	Крупномасштабное 1 : 50 000										
Геотектонический	Зоны проявления поздних этапов геосинклинально-складчатого развития и тектономагматической активизации	Каледонская складчатая система (Западное Забайкалье) Обрамление мезозойской складчатой области (Восточное Забайкалье) Э=5,9—6,5, И=16—18	Обрамление жестких краевых и внутригеосинклинальных выступов (Западное Забайкалье)	Борта позднемезозойских депрессий с вулканогенным выполнением										
Структурный	Линеаменты	Тектонические швы, обрамляющие каледонскую складчатую область в Западном и мезозойскую в Восточном Забайкалье Глубинные региональные разломы в пределах каледонской и мезозойской складчатых систем	Участки сопряжения и пересечения региональных разломов	Изгибы, расщепления региональных разломов, сопряжения и пересечения локальных разломов, трещины их оперения, пересечения складок разрывными нарушениями										
Магматический	Липарит-базальтовая и липаритовая формации	Поля развития вулканогенных пород J ₁ —K ₁ в Западном, J ₃ —K ₁ в Восточном Забайкалье	Таширская, цаган-хунтейская, худогинская, хилокская свиты — Западное Забайкалье Абагатуйская свита — Восточное Забайкалье	Наиболее полное и дифференцированное проявление магматических образований Месторождения в самих эффузивах и вблизи них										
Петро-геохимический	Повышенная щелочность (Na тип)	Повышенная щелочность (Na > K) и известковистость пород Повышенные содержания F (0,1%)		Сочетание наиболее кислых липаритов и наиболее основных базальтов										
Стратиграфо-геохронологический	Pz — Казахстан, J ₃ —K ₁ — Забайкалье, K ₂ — Хабаровский край, Pg — Чукотка	Дораниемеловые породы	Более благоприятны палеозойские породы											
Литолого-петрографический	Гранитоиды, эффузивы, для крупных месторождений — карбонатные породы	Гранитоиды повышенной кислотности и железистости Эффузивы Карбонатные породы		<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: right;">Экстенсивность (ед./1000 км²)</td> <td style="text-align: right;">Интенсивность (%)</td> <td rowspan="4" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;">Восточное Забайкалье</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">21</td> <td style="text-align: right;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">14,4</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">4,4</td> <td style="text-align: right;">57</td> </tr> </table>	Экстенсивность (ед./1000 км ²)	Интенсивность (%)	}	Восточное Забайкалье	21	18	14,4	30	4,4	57
Экстенсивность (ед./1000 км ²)	Интенсивность (%)	}	Восточное Забайкалье											
21	18													
14,4	30													
4,4	57													

Перспективная оценка территории СССР на флюорит

Флюоритовое оруденение широко проявлено на территории СССР — Украине, Пай-Хое, Казахстане, Средней Азии, Забайкалье, Приморье — и составляет надежную сырьевую базу для промышленности.

На основании вышеизложенных принципов расширены границы известных флюоритоносных площадей, намечены новые районы и дана прогнозная оценка. В результате обосновывается возможность значительного роста минерально-сырьевой базы СССР на плавиковый шпат.

В пределах известных флюоритоносных провинций (Забайкалье, Приморье, Средняя Азия, Казахстан и Украина) увеличение запасов плавикового шпата ожидается за счет: а) доразведки эксплуатирующихся и разведанных месторождений; б) открытия новых месторождений и переоценки перспективных рудопроявлений на известных флюоритоносных площадях; в) открытия месторождений в пределах вновь прогнозируемых флюоритоносных зон и узлов.

На востоке и в некоторых других районах СССР выделен ряд новых флюоритоносных площадей развития оруденения флюоритовой (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс), полиметаллически-флюоритовой (Колымский массив, Таймыр), редкометалльно-флюоритовой (Верхояно-Чукотская складчатая область) и других формаций, что позволит увеличить общие запасы флюоритовых руд и изменить географию их размещения.

Увеличение запасов может произойти также за счет вовлечения в эксплуатацию комплексных месторождений с невысокими содержаниями флюорита в рудах и открытия новых типов фторового оруденения (типа высокофтористых метасоматитов Украины). При этом важная экономическая значимость комплексной флюоритовой минерализации требует серьезной ревизии регионов (в первую очередь, экономически освоенных) с развитием редкометалльного, полиметаллического и редкоземельного оруденения и позволяет предусматривать открытие в них новых месторождений.

Особое внимание при поисках промышленных флюоритовых месторождений в регионах с благоприятной тектонической обстановкой и фтороносными магматическими формациями следует обратить на карбонатные породы, где могут локализоваться крупные метасоматические залежи. Поиски таких стратифицированных месторождений представляют большие трудности в связи с их субгоризонтальным положением и невыразительностью мелкозернистых флюоритовых руд — флюорит легко выцветает на солнце и становится неотличимым от кварца и карбонатов. Диагностике подобных карбонатно-флюоритовых и флюоритовых руд могут помочь полевые методы определения флюорита (люминесцентные приборы) и фтора (спектрофторометрия, нейтронно-активационный метод), а также пористое, каркасное строение кварц-флюоритовых руд.

Наряду с наращиванием запасов флюорита, дефицит фтора может быть покрыт путем попутного извлечения его при переработке фосфатных руд.

В. Л. Либрович

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

Критерии прогноза фосфоритовых месторождений фактически выявлены только в последние 10—15 лет и сейчас еще находятся в стадии пересмотра ряда положений ввиду недооценки роли вулканизма и палеотектоники в образовании промышленных залежей фосфоритов.

Ряд критериев, многие годы считавшихся достоверно установленными, как, например, приуроченность фосфоритовых залежей к базальным горизонтам трансгрессивных серий, к отложениям шельфов, оказались неточными или слишком неопределенными. Наоборот, ранее отрицавшаяся связь фосфоритов с рифами и галогенными формациями получила убедительное подтверждение и должна рассматриваться как одна из региональных закономерностей размещения фосфоритовых месторождений. Классификация фосфоритоносных формаций впервые и очень детально была разработана Н. С. Шатским (1955). Все основные положения этой классификации подтвердились дальнейшими исследованиями. Более того, отмеченная Н. С. Шатским приуроченность крупнейших фосфоритовых месторождений геосинклиналей к группе отдаленных кремнистых формаций оказалась верной и для платформенных (в понимании Н. С. Шатского) формаций. К группе отдаленных кремнистых (точнее, туфогенно-кремнистых) формаций относятся формации бассейна Каратау в Казахстане, Хубсугульского бассейна в Монголии, бассейна Фосфория в США и колоссального бассейна Северной Африки и Аравийского п-ва.

Территория СССР отличается гетерогенным геологическим строением. Вследствие этого в СССР развиты различные фосфоритоносные формации, из которых только некоторые являются высокоперспективными. Запасы фосфоритов в СССР по промышленным категориям $A+B+C_1$ составляют около 3 млрд. т, прогнозные около 10—15 млрд. т. Для сравнения отметим, что в Марокко общие запасы фосфоритов (категорий $A+B+C_1+C_2$) составляют 30 млрд. т, причем все фосфориты относятся к одной пестроцветной терригенно-кремнисто-карбонатной формации и отличаются высоким качеством. Количество фосфорных туков, вносимых на 1 га пашни в нашей стране, в 2,5—8 раз меньше, чем в крупнейших капиталистических странах. Практически все эксплуатирующиеся месторождения сосредоточены в европейской части СССР и Западном Казахстане. Все вышеизложенное настоятельно требует поисков новых экономически рентабельных месторождений фосфоритов как в европейской части СССР, так и на юге азиатской части СССР, ближе к сельскохозяйственным районам.

Главнейшие формационные типы месторождений фосфоритов и региональные критерии прогнозной оценки

Основными фосфоритоносными формациями, заключающими тесно сближенные группы месторождений с общими запасами около 1 млрд. т и больше, являются кремнисто-доломитовая (Каратау, Ухогол), группа глауконитово-терригенных формаций и ракушняковая терригенная формация (таблица). К сожалению, кремнисто-доломитовая формация типа Каратау выходит на поверхность очень редко не только в СССР, но и за рубежом. На глубине значительно ниже уровня подземных вод фосфоритовые залежи нигде в мире не разрабатываются ввиду явной нерентабельности. Залежи желваковых фосфоритов, приуроченных к формациям глауконитово-терригенной группы, образуют крупные месторождения только в пределах единственной в СССР устойчивой древней платформы — Русской. Небольшая мощность продуктивного пласта (в среднем около 1 м) делает эти месторождения рентабельными только при практически совершенно пологом залегании продуктивных пластов на больших пространствах. Крупнейшие бассейны, Актюбинский и Вятско-Камский, расположены у острых углов крупнейших впадин — Прикаспийской и Печорской, тем самым напоминая единственный в мире подводный фосфоритоносный бассейн бордерленда моря Южной Калифорнии миоцен-четвертичного возраста, где цепь подводных фосфоритоносных банок подходит под

острым углом к побережью Калифорнии. Запасы желваковых фосфоритов на дне моря Южной Калифорнии оцениваются в 1—1,5 млрд. т и уже разведываются.

Ракушняковая терригенная формация образует крупные месторождения только на устойчивой Русской платформе (в Прибалтике), так как содержание P_2O_5 в рудах этой формации невысокое и мощность рудоносных горизонтов незначительна. На территории тектонически и вулканически более активной Сибирской платформы ракушняковые фосфориты образуют лишь мелкие месторождения ввиду быстрой смены фаций и погружения под вышележащие отложения. Таким образом, на территории Сибирской платформы нет основания ожидать обнаружения крупных месторождений желваковых и ракушняковых фосфоритов. В мезозойских отложениях этой платформы наибольший интерес будут представлять фосфоритовые конгломераты группы глауконитово-терригенных формаций, протягивающиеся в виде полос вдоль окраин щитов. Зато Сибирская платформа еще мало исследована на верхнепротерозойско-кембрийские пластовые и конкреционные фосфориты из группы терригенно-кремнисто-карбонатных формаций, образующие крупные месторождения в соответствующих по возрасту отложениях подвижной Китайской платформы.

В Северо-Восточном Казахстане, Алтае-Саянской области, Туве, Забайкалье и на востоке СССР в пределах Монголо-Охотского пояса широко распространены верхнепротерозойско-кембрийские, реже ордовикские, девонские и пермские фосфоритовые формации из группы вулканогенно-осадочных геосинклинальных формаций. Месторождения этой группы формаций весьма разнообразны и образуют почти непрерывный ряд от вулканогенно-яшмово-карбонатной формации, в которой наиболее ярко проявлены черты вулканизма, до формаций, близких к отдаленной (скрытовулканической) формации Каратау и Ухогола. Фосфориты этой группы формаций отличаются пестротой состава, сравнительно низким качеством руд и образуют в основном стратиформные залежи, морфология которых до сих пор не изучена. В настоящее время разведаны и считаются рентабельными исключительно карстово-метасоматические, обогащенные P_2O_5 фосфориты, образовавшиеся по первичным бедным фосфоритам и фосфатизированным породам этой группы формаций. Месторождения карстово-метасоматических фосфоритов содержат обычно небольшие запасы, но отличаются сравнительно высоким качеством фосфоритов, которые в отличие от первичных фосфоритов могут непосредственно перерабатываться в фосфоритовую муку. Линзовидные залежи карстовых фосфоритов залегают практически согласно с пластами вмещающих пород, так как они представляют собой в основном линейные коры выветривания.

Фосфоритовые формации данной группы еще слабо изучены, но поскольку они широко распространены в верхнепротерозойско-кембрийских геосинклинальных отложениях юга Сибири и Дальнего Востока, необходима разработка критериев, позволяющих выделять наиболее перспективные их типы. При этом следует иметь в виду, что в результате движений по разломам, связанным с мезозойской и более поздней активизацией, многие фосфоритовые площади оказались разорванными на отдельные блоки с небольшими запасами, что значительно снижает их промышленную ценность.

В альпийских горных сооружениях (Кавказ, Копетдаг и т. д.) промышленных месторождений фосфоритов не обнаружено, что объясняется интенсивной дизъюнктивной тектоникой и расчлененностью этих сооружений, т. е. в конечном счете уничтожением значительных участков фосфоритовых формаций. Промышленные залежи фосфоритов могут быть обнаружены лишь на отдельных периферических участках этих горных сооружений.

Характеристика главнейших фосфоритоносных формаций и связанных с ними месторождений фосфоритов

Фосфоритоносные формации (или их группы)	Тип фосфоритов	Средняя мощность продуктивных пластов и пачек, м	Среднее содержание P_2O_5 , %	Основные вредные примеси	Примеры фосфоритоносных бассейнов и месторождений, их запасы	Основные черты палеотектонической и палеогеографической обстановки образования месторождений	Основные эпохи фосфатонакопления в разных регионах
Группа глауконитово-терригенных формаций	Желваковый и плитный	0,5—1	7—13	Fe	Вятско-Камский бассейн, Актюбинский бассейн. Общие запасы 1—1,5 млрд. т	Бортленды	Юра — мел
Ракушняковая терригенная	Ракушняковый, детритно-ракушняковый	2—4	4—10	Fe	Кингисеппское, Маарду, десятки-сотни млн. т	"	Ордовик, кембрий
Кремнисто-доломитовая	Оолитовый и оолитово-зернистый	6—9	19—25	Карбонаты	Бассейн Каратау, общие запасы 1,5 млрд. т	"	То же
Группа вулканогенно-кремнисто-карбонатных формаций*	Тонкослоистый, брекчиевидный, зернистый, вкрапленно-прожилковый	Мощность продуктивных пачек резко изменчива — от 2 до 90 м	6—12	Fe, Mn, карбонаты	Белкинское, Тамалыкское, Удско-Шангарский бассейн, десятки-сотни млн. т	Островные дуги	Верхний протерозой — кембрий, ордовик, девон, пермь

* По пачкам бедных фосфоритов и фосфатизированных карбонатных пород с туфогенным материалом образуются линейные коры выветривания с карстово-метасоматическими фосфоритами (среднее содержание P_2O_5 — 15—21%, запасы — десятки млн. т).

Локальные критерии прогнозной оценки территорий

Одним из важнейших критериев прогноза залежей фосфоритов, могущих удовлетворить требования промышленности, является приуроченность таких залежей к конседиментационным поднятиям, зонам сокращенных мощностей в пределах площадей распространения любой фосфоритоносной формации. Для кремнисто-доломитовой формации и группы вулканогенно-кремнисто-карбонатных формаций конседиментационные поднятия представляют собой сложные рифогенные постройки, для остальных формаций — подводные отмели, банки, зоны мелководья у островов. Отсюда естественно вытекает отрицательный критерий: мощные толщи кластогенных флишеидных и молассовых отложений бесперспективны на промышленные фосфориты. Однако при геологической съемке в районах со сложным геологическим строением часто бывает трудно правильно оценить мощность тех или иных толщ. В этом случае следует иметь в виду, что для фосфоритоносных конседиментационных поднятий характерна «стратиграфическая конденсация», т. е. сосредоточение в фосфоритном пласте или пачке разновозрастной фауны, чаще всего фауны нескольких ярусов какой-либо системы.

Пластовые фосфориты оолитового, зернистого, тонкослоистого и некоторых других структурно-текстурных типов являются темноокрашенными породами, практически неотличимыми от битуминозных карбонатных и карбонатно-кремнистых пород. Но рифогенные формации, заключающие такого типа фосфориты, всегда содержат небольшие марганцевые и марганцево-железистые проявления. Эти проявления обычно располагаются в кровле фосфоритовых залежей и, благодаря отчетливой фиолетово-черной окраске окислов марганца, легко обнаруживаются в процессе геологической съемки. Фосфориты рифогенных формаций почти всегда слабо радиоактивны и сочетаются в разрезе с черными битуминозными или углистыми сланцами и черными слоистыми и неслоистыми кремнистыми породами — фтанитами. На многих месторождениях фосфоритов в зонах разломов и карста имеются проявления флюорита, обычно фиксируемые при геологической съемке. Залежи фосфоритов группы вулканогенно-кремнисто-карбонатных формаций сопровождаются синвулканомиктовыми туфопесчаниками, туфоалевролитами и туфоаргиллитами с резко повышенным содержанием фосфора. Желваковые и другие типы фосфоритов из группы глауконитово-терригенных формаций характеризуются присутствием глауконита, в том числе ярко-зеленого, легко распознаваемого в полевых условиях. Появление ярко-зеленого и темно-зеленого глауконита обычно свидетельствует о том, что на соседних участках могут быть обнаружены промышленные залежи фосфорита, где глауконит обычно загрязнен примесями и имеет тусклый невыразительный вид.

Следует еще подчеркнуть, что при геологосъемочных работах обычно отмечают внешне выразительные, но не имеющие практического значения фосфоритовые конкреции, желваки и т. п., на которых иногда сосредоточивается внимание, в то время как внешне невзрачные промышленные фосфориты пропускаются.

Оценка перспектив различных регионов СССР на фосфориты

Образование фосфоритов связано, с одной стороны, с органическим веществом, поскольку фосфор наряду с углеродом и азотом является типичным биогенным элементом, и с другой — с базальтовым вулканизмом как первоисточником фосфора. Выше рассматривался ряд формаций, где фосфориты являются несомненно биогенными образованиями (например, ракушняковые) или явно и неявно связанными

с преобразованием пеплового материала. Но поскольку концентрация фосфатного материала происходит путем механической или иной дифференциации, то основную роль в образовании месторождений фосфоритов играет палеотектоника, а в их разрушении — денудация и дизъюнктивная тектоника. Ранее уже отмечалось, что в Сибири и на Дальнем Востоке нет основания ожидать крупных месторождений фосфоритов, принадлежащих к группе глауконитово-терригенных формаций и ракушняковой терригенной формации. Это положение справедливо и для Казахстана, Средней Азии и Урала, хотя на отдельных участках этих сложных по геологическому строению регионов возможно обнаружение средних и мелких месторождений этого типа. Наибольшие перспективы в этих районах связаны с кремнисто-доломитовыми формациями и формациями вулканогенно-кремнисто-карбонатной группы, причем в районах, где отсутствуют зоны смятия и интенсивная дизъюнктивная тектоника другого типа. Бесперспективны также все выступы докембрийского фундамента и сильно метаморфизованных толщ.

С. М. Корневский

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

На территории СССР известны многочисленные месторождения ископаемых солей. Наиболее крупные и мощные галогенные формации, с которыми обычно связаны залежи калийно-магниевых солей, приурочены к отложениям кембрия, верхнего девона, нижней перми, верхней юры — нижнего мела и неогена. Кроме калийно-магниевых солей, основными полезными ископаемыми галогенных формаций являются: каменная соль, гипсоангидриты, карбонатные породы (обычно доломиты) и некоторые другие (бораты, бром, самородная сера, целестин, флюорит), которые в нашем обзоре не рассматриваются. Наряду с сингенетической в них имеется наложенная минерализация, которая, как нефть, газ и другие полезные ископаемые, может экранироваться галогенными толщами и улавливаться гидрохимическими (рассольными) барьерами. Значительный комплекс минерального сырья, связанного с галогенными формациями, повышает их ценность и перспективы изучения и освоения,

Главнейшие калиеносные формации СССР, ныне эксплуатирующиеся в Соликамской и Припятской впадинах, в Предкарпатском прогибе, а также в Прикаспийской и Днепровско-Донецкой впадинах, находятся в европейской части Советского Союза. В азиатской части СССР месторождения калийно-магниевых солей разведаны в Средней Азии, где они связаны с верхнеюрской галогенной формацией. На территории Сибири в огромной кембрийской галогенной формации до сих пор обнаружены только проявления калийных солей. Для соляного сырья, относительно дешевого и повсеместно потребляемого, дальние перевозки нерентабельны. Именно поэтому очень острой является проблема обнаружения калийных солей для Сибири и Дальнего Востока, а для последнего и поваренной соли.

Разведанные запасы калийных солей в СССР, по данным А. А. Иванова, составляют по категориям $A+B+C_1+C_2$ (в пересчете на K_2O) около 24 млрд. т. Они превышают аналогичные запасы всех прочих стран мира и полностью обеспечивают потребности СССР. Однако 90% этих запасов приходится на Верхнекамское месторождение. Прогнозные и геологические запасы природных калийных солей Советского Союза составляют около 700 млрд. т (в пересчете на K_2O 42,8 млрд. т). Распределение их по месторождениям и районам показано в таблице.

Основные данные о калиеносных формациях
(Составлено с использованием материалов А. А. Иванова)

Калиеносные формации	Возраст	Подтипы	Калиино-магние- вые соли	Калийные горизонты (пласты)			Запасы			Площадь распространения формации, тыс. км ²	Мощность формации, м
				Кол-чество	Мощность, м	Содержание КСl, %	Категории А+В+С ₁ +С ₂ , К ₂ O, млрд. т	Сырые соли, млрд. т			
								прогнозные	общегеологические		
Верхнекамская	P ₁	Хлоридный	Сильвин, карналлит	2 (15)	До 8	19—40	21,5	—	202,0	8,5	1000
Припятская	D ₃			4—30	3—20	14—32	1,3	42,0	95,0	26	2000—2500
Гаурдакская	J ₃ —Cr ₁			3—11	1—18	18—31	0,76	26,2	45,0	30	500—1200
Верхнепечорская	P ₁			—	До 8	15—17	0,32	—	10,0	2,5	600
Прикаспийская	P ₁	Сульфатно-хлоридный	Сильвин, карналлит, бишофит, кизерит, полигалит, каинит	10	5—40	До 42	0,42	7,5	250,0	900	2500
Днепровско-Донецкая	P ₁			3	3,5—8	До 35—40	—	2,5	8,0	40	1500
Предкарпатские	N	Сульфатный	Каинит, лагбейнит, сильвин, кизерит, полигалит	4—13	3—100	9—14 (K ₂ O)	0,42	6,0	18,0	7	600—2500

Главнейшие формационные типы месторождений

Генетически и литологически резко различаются морские и континентальные галогенные формации. Континентальные галогенные формации обычно характеризуются меньшими площадями распространения, мощностью и степенью соленасыщения, чем морские галогенные формации. Они представлены четырьмя основными подтипами: хлоридным, хлоридно-сульфатным, содовым и нитратным. Два последних подтипа на территории СССР известны лишь в областях современного солончаково-озерного соленакопления и имеют ограниченные распространение и мощности. Хлоридные и хлоридно-сульфатные континентальные галогенные формации распространены преимущественно на территориях межгорных впадин. Из соляных минералов в них преобладают галит, гипс, иногда астраханит, а в хлоридно-сульфатных формациях еще глауберит и реже тенардит. Из сопутствующих минералов в континентальных галогенных формациях присутствуют бораты, целестин, флюорит, родусит-асбест и некоторые другие. Мощность этих формаций достигает уже сотен метров.

Среди морских галогенных формаций различают калиеносные (полного профиля) и некалиеносные (неполного профиля). Некалиеносные формации в основном сложены каменной солью, гипсом или ангидритом, а также карбонатными и терригенными породами. Из различного сочетания этих пород возникает несколько подтипов таких формаций — от существенно терригенных или карбонатных до галито-ангидритовых и преимущественно галитовых (хлоридных). С некалиеносными галогенными формациями морского происхождения нередко связаны залежи (пласты, прослои) самородной серы, целестина, иногда флюорита и барита. Мощность этих формаций изменяется от десятков до сотен метров и в среднем не превышает 500 м.

Наибольший интерес представляют морские калиеносные формации. Они обычно распространены на больших площадях, имеют среднюю мощность от 500 до 1500 м. В их разрезах, в дополнение к комплексу полезных ископаемых некалиеносных галогенных формаций, присутствуют залежи различных калийно-магниевого солей и боратов. Некоторые соляные пласты содержат промышленные концентрации брома, рубидия и реже цезия. Карбонатные породы представлены не только доломитом, но и магнезитом.

Среди морских калиеносных формаций различаются формации хлоридного, сульфатно-хлоридного и сульфатного подтипов. Бороносными из них являются только калиеносные формации сульфатно-хлоридного подтипа. Обычно от хлоридных к сульфатным формациям увеличивается терригенность и уменьшается карбонатность их разреза (см. таблицу).

На территории СССР представлены все три подтипа калиеносных формаций. Наиболее широко распространены, лучше разведаны и в более значительных масштабах эксплуатируются калийные соли калиеносных формаций хлоридного подтипа. Они содержат наиболее богатую калийную руду — сильвинит, а также карналлитовую породу. В моноциклическом разрезе Верхнекамского месторождения А. А. Ивановым выделяются нижний сильвинитовый и верхний сильвинито-карналлитовый горизонты. Промышленное значение имеют сильвинитовые пласты «красный II» и «двойной АБ», а также «карналлитовый В». На Верхнекамское месторождение приходится 55% добычи калийных солей СССР.

В Припятской впадине разведано Старобинское месторождение, его площадь — 688 км² (тогда как галогенная формация распространена на территории более 26 тыс. км²). Здесь развиты четыре пласта калийных солей, а эксплуатируются два. Разведанные запасы калийных

солей (в пересчете на K_2O) составляют около 1 млрд. т. К востоку от Старобино возрастает мощность соленосной толщи (до 2000 м) и количество калийных горизонтов (до 25—30). В Шатилковской депрессии перспективен Нежинский участок (5 калийных горизонтов), в Калинковичской депрессии выявлено Петриковское месторождение (8 калийных горизонтов). Преобладают сильвиниты, их прогнозные запасы около 42 млрд. т. На неразбуренных площадях запасы калийных солей оцениваются в 40 млрд. т. На Старобинском месторождении добывается 38% калийных солей страны.

В Средней Азии соленосные отложения юрско-мелового комплекса неглубоко залегают на площади около 4 тыс. км². Разведаны или опробованы Гаурдакское, Кызылмазарское, Тюбегатанское, Карлюкское, Карабильское, Окузбулакское, Кугитангское и другие месторождения калийных солей. В северных разрезах — 3—5 калийных пластов (преимущественно сильвинита), а в южных больше и представлены они здесь в основном карналлито-сильвиновой породой. В крупнейшем Карлюкском месторождении промышленное значение имеют 11 пластов, из них 8 сильвинитовых и 3 сложены карналлитовой породой.

К хлоридному типу относится Верхнепечорская калиеносная формация. Встреченные здесь пласты калийных солей низкачественные, а запасы их отнесены к забалансовым.

Сульфатно-хлоридный тип представлен нижнепермскими калиеносными формациями Прикаспийской и Днепровско-Донецкой впадин. Кунгурская калиеносная формация выполняет Прикаспийскую синеклизу, Южно-Предуральский прогиб и распространяется на приподнятую юго-восточную часть платформы. Примерно на площади 350—400 тыс. км² в ее разрезе имеются залежи калийных солей. Калийные соли местами бороносны, имеются вторичные бораты. Бурением калийные соли на глубинах, доступных для эксплуатации, обнаружены на Индере, Челкаре, Сатимоле, Линевке, Озинках, Эльтоне и еще почти 20 структурах синеклизы. Разведанные запасы сильвинитов по невысоким категориям имеются лишь для отдельных участков Индера (110,8 млн. т K_2O) и Эльтона (220 млн. т K_2O). На Жилинской структуре разведаны залежи полигалитовой породы (58,4 млн. т K_2O) и линзы сильвинита (14,2 млн. т K_2O). В Южном Предуралье небольшие линзы сильвинита обнаружены в Стерлибашево, а проявления полигалита и сильвина — в Стерлитамаке, Ишимбаево, Каировке, Гребнях, Нежинке, Джуантубе и Красноярке.

В сакмарской калиеносной формации Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса выделяются три калиеносных горизонта: нижний — карналлито-кизеритовый, средний — сильвинитовый и верхний — карналлито-сильвинитовый. На площади Бахмутской котловины, где на доступных глубинах встречено два кондиционных сильвинитовых пласта, геологические запасы сильвинитов оцениваются примерно в 2500 млн. т, в том числе до глубины 800 м — 700 млн. т.

Миоценовые калиеносные формации Предкарпатья (воротыщенская и голынская) относятся к сульфатному типу. Преобладают залежи сульфатных калийно-магниевого солей, представленных в основном каинитом и лангбейнитом, а также смешанными солями, в которых, кроме каинита и лангбейнита, присутствуют кизерит, сильвин, полигалит и другие минералы. В голынской формации более значительна роль сильвинитовых пластов, имеются скопления бедной карналлитовой породы. Наиболее значительны промышленные запасы эксплуатирующихся Стебникского (130 млн. т K_2O) и Калуш-Голынского (68 млн. т K_2O) месторождений, а также Бориславского (54 млн. т K_2O), Нинювского (40 млн. т K_2O) и Тростянецкого (40 млн. т K_2O) месторождений. Менее значительны промышленные запасы Помярок, Доброгостовского, Уличнянского, Долголукского, Моршинского и Гир-

нянского месторождений. Здесь разбуриваются также Марковское, Дзвинячское, Россильнянское, Березовское, Делятинское, Молодьковское и Блажевское калийные месторождения.

Для всех калиеносных формаций составлены литофациальные карты, на которых показаны контуры распространения калиеносных комплексов. Там, где калиеносные отложения залегают глубоко, на дополнительных картах нанесены изогипсы их кровли (краматорская свита Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса) или контуры соляных ядер крупнейших солянокупольных структур (Прикаспийская синеклиза). Литофациальный и структурный критерии надежно определяют перспективы калиеносности указанных формаций, а эти карты являются достаточной основой для прогнозирования и дальнейших поисков месторождений калийных солей.

Кроме вышеуказанных калиеносных формаций, те или иные калиепроявления отмечались в галогенных формациях кембрия Восточной Сибири и Якутии, в среднедевонских — Московской синеклизы и в цехштейне Калининградской области (Нивенское). Незначительные калиепроявления известны в девонских соленосных отложениях района Серегово, в миоцене Ереванского соленосного бассейна. Повышенная гамма-активность установлена в верхнеюрских солях Северного Предкавказья (Кужорская площадь). Калиепроявления почти повсеместно представлены включениями и тонкими прослойками сильвина и карналлита в каменной соли. Только в нивенской скважине встречен двухметровый слой полигалитовой породы.

В нашей работе рассматриваются все более или менее значительные галогенные формации СССР, не только калиеносные и содержащие калиепроявления, но и галитсодержащие. Среди них должны быть отдельно отмечены глауберито-галитовые формации межгорных впадин Тянь-Шаня. Как и в сульфатных калиеносных формациях, в них очень много терригенного материала. Для всех этих галогенных формаций, насколько это оказалось возможным, дается распределение различных соляных и несолевых литокомплексов. Таким образом, площадь распространения каждого из этих комплексов определяется как потенциально перспективная для поисков определенного набора полезных ископаемых.

На территории Сибири и Дальнего Востока, где галогенные формации (исключая нижнекембрийские и отчасти девонские) еще недостаточно изучены, а калиеносные пока неизвестны, анализировались не только соледержащие, но и гипсо-ангидритоносные формации. В таких формациях впоследствии при более детальном изучении обнаруживается и каменная соль, а реже и калийно-магниевые соли. В нижнекембрийской галогенной формации Сибирской платформы для поисков калийных солей перспективны районы Вельминской и Канско-Тасеевской впадин, Тулунского Присаянья, Илгинской впадины и зоны Непских складок. По гидрохимическим данным, интересен район Дельгея (Якутия), где в высокоминерализованных рассолах (372 г/л) обнаружены высокие содержания калия (42 г/л) и брома (2,74 г/л). Восточнее р. Лены каменная соль (возможно с калиепроявлениями) прогнозируется в бассейне р. Тоскана.

Почти все калиеносные регионы ранее были известны как районы крупного солеварения и соледобычи. Ныне каменная соль добывается из пермских галогенных отложений Донбасса (Артемовск и др.) и Северного Прикаспия (Илецк), миоцена Закарпатья (Солотвино) и Закавказья (Аван). Выщелачиванием соль получают из галогенных формаций кембрия Сибири (Усолье), перми Предуралья, миоцена Предкарпатья (Дрогобыч, Болехов, Долина) и др.

Галогенные формации обладают также крупными ресурсами ангидритового (гипсового) и карбонатного сырья. Они доступны для

эксплуатации на площадях неглубокого залегания, на периферии галогенных формаций, где в зоне гипергенеза ангидрит превращается в гипс, а также в сводах антиклиналей и приподнятых блоках. Карбонатные породы вместе с каменной солью широко потребляются для производства соды. Комплексное использование солей, ангидрита (гипса) и карбонатных пород химической промышленностью (как химическое сырье и стройматериалы) оправдывает целесообразность их совместного рассмотрения. Исключения представляют калиеносные формации сульфатного типа (Предкарпатье), не содержащие мощных толщ ангидрита и карбонатных пород.

Критерии прогнозной оценки

Для прогнозной оценки полезных ископаемых галогенных формаций рекомендуется определенная последовательность использования критериев или факторов контроля. Ранее для общего прогноза галогенных формаций, особенно в малоизученных регионах, широко использовался в основном гидрохимический критерий (наличие соляных источников). Ныне на первой же стадии прогноза применяется геотектонический критерий, так как соленакопление (галогенные формации) во времени тесно связано с основными тектоническими процессами в истории Земли (Lotze, 1938). Наиболее значительные периоды засоления обычно следовали за эпохами орогенеза и связаны с крупными регрессиями. Для образования мощных морских галогенных формаций определяющим является тектонический фактор — наличие крупных интенсивно прогибавшихся тектонических структур, таких, как краевые и межгорные прогибы, синеклизы и грабены платформ. Этот фактор должен сочетаться с аридностью климата и регулируемой связью солеродного бассейна с открытым морем или океаном.

При составлении литолого-фациальных карт галогенных формаций СССР и сопоставлении их с тектонической картой кристаллического фундамента было установлено, что эти формации приурочены к подвижным авлакогеноподобным зонам докембрийского фундамента. Мощность и полнота разрезов галогенных формаций зависят от глубины погружения поверхности фундамента. Самые крупные галогенные формации широко распространены преимущественно в краевых частях платформ. С одной стороны они ограничены складчатыми областями. В глубь платформ они распространяются с сохранением больших мощностей только по крупным грабенообразным структурам.

Даже маломощные галогенные формации внутриплатформенных синеклиз и особенно их соляные комплексы редко распространяются на площадях, где поверхность кристаллического фундамента залегает выше абс. отметки —3000 м и особенно —2000 м. Таким образом, в пределах платформ, особенно тех, структурный план которых наследовался (например, Русская платформа), по вышеуказанным отметкам может быть проведено первое ограничение областей возможного распространения галогенных формаций. На Русской платформе мощные галогенные формации развиты только в пределах авлакогеноподобных структур ее фундамента. Галогенные формации обычно не распространяются в пределы крупных положительных структур фундамента, даже погребенных, таких, как Токмовский свод на Русской платформе и Чунское поднятие на Сибирской платформе.

Последующая прогнозная оценка проводится с применением стратиграфического, литолого-фациального, палеогеографического и палеоклиматического критериев. Ими уточняются периоды (по разрезу) и площади возможного засоления, наличие необходимых климатических условий (аридности и полуаридности).

Следующий этап более детальной качественно-количественной оценки полезных ископаемых галогенных формаций осуществляется в основном применением литолого-фациальных, объемно-структурных, гидрохимических и иногда геоморфологических критериев, а также использованием прямых (по выработкам и обнажениям) или косвенных (геофизических и др.) данных о наличии тех или иных полезных ископаемых. Такая детальная оценка может быть выполнена на картах лишь для определенных периодов времени или геологических регионов. Из-за многоярусности галогенных формаций обзорные прогнозные карты даже при известной схематизации приходится составлять для нескольких уровней. Выявляется определенная зависимость подтипов калиеносных формаций от литологии ложа солеродных бассейнов. У хлоридных калиеносных формаций оно было сложено преимущественно карбонатными породами, у сульфатных — терригенными, а у сульфатно-хлоридных и карбонатными и терригенными породами.

Изучение характера изменения разрезов крупных морских галогенных формаций по площади позволило выявить достаточно четкую закономерность смены литолого-фациальных комплексов от периферии к их центральной части. В этом направлении терригенные и карбонатные комплексы постепенно сменяются ангидритсодержащими, ангидритовыми, ангидрито-соляными и соляными. Затем следуют комплексы с калийно-магниевыми солями в порядке их растворимости. Асимметрия в их размещении связана с преимущественным распространением терригенных комплексов в пригеосинклинальной периферии галогенных формаций, а карбонатных — в приплатформенной. Уже сами карты литолого-фациальных комплексов, каждый из которых имеет определенный набор полезных ископаемых, являются одновременно и прогнозными картами.

Оценка перспектив соленосности и калиеносности территории

Выполненной систематизацией материалов показан характер географического размещения галогенных формаций для всей территории СССР. Даже при такой по существу обзорной работе удалось показать литологический состав формаций, а следовательно, и основной набор их полезных ископаемых.

Для прогнозов и поисков соляного сырья по каждому из конкретных галогенных регионов необходимо составлять более крупномасштабные карты, иногда ряд карт по отдельным стратиграфическим толщам (горизонтам, свитам) формаций. На эти карты наносятся структурная нагрузка (глубины залегания, для солянокупольных регионов — контуры сводов соляных структур, изомощности и т. д.), а также дополнительная нагрузка о сопровождающих полезных ископаемых.

В настоящее время у нас наиболее хорошо изучены и разведаны содержащие более ценное сырье калиеносные формации европейской части СССР. На Верхнекамском месторождении разведана вся его площадь. В Припятской впадине и Предкарпатье имеются возможности для дальнейшей разведки и поисков новых калиеносных площадей, особенно на юго-востоке этих регионов. Особенно велики сырьевые резервы калийно-магниевых солей на территории Прикаспийской синеклизы, и еще сравнительно мало они изучены в Днепровско-Донецкой впадине и Донбассе, где галогенные отложения к тому же бороносны.

За Уральским хребтом имеется лишь одна надежная сырьевая база калийных солей — в Средней Азии (Гаурдак-Кугитангский район). Здесь также имеются резервы для поисков и разведки новых калиеносных площадей. Поисками калийных солей в Восточной Сибири до сих пор не выявлены месторождения этого сырья. Поиски их будут

здесь продолжаться попутно с поисками других полезных ископаемых. На азиатской части СССР еще требуются значительные работы для изучения галогенных формаций.

Я. К. Писарчик, Г. А. Беленицкая, М. А. Минаева, Г. А. Русецкая

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЫ

Увеличивающееся потребление серы промышленностью и сельским хозяйством обуславливает рост дефицита серосодержащего сырья как в СССР, так и на мировом рынке. Расширение соответствующей сырьевой базы в СССР предусмотрено директивами XXIV съезда КПСС. Ведущая роль в производстве серы принадлежит сере самородной. В СССР на ее долю в 1970 г. приходилось 75% всей добываемой серы. Все крупнейшие месторождения самородной серы находятся в европейской части СССР (Прикарпатье, Восточно-Европейская сероносная провинция), а в азиатской — лишь единичные (Гаурдак в Средней Азии) или незначительные по масштабам (месторождения вулканогенной серы Курил и Камчатки). Особенно велика потребность в серном сырье в Сибири, где месторождения серы неизвестны. Именно на азиатской части СССР (и для сравнения на крупнейшем Прикарпатском сероносном бассейне) сосредоточены все наши прогнозно-оценочные исследования.

Главнейшие формационные типы месторождений

Все наиболее крупные месторождения самородной серы мира являются экзогенными, связаны с галогенными (сульфатоносными) формациями различного возраста и возникли эпигенетически — в стадию гипергенеза. Другие генетические типы экзогенных месторождений, за редким исключением (Каракумская группа серопроявлений), непромышленные, а месторождения вулканогенной серы обычно не выходят в СССР за пределы мелких.

Серные руды в галогенных формациях являются продуктом метасоматического замещения серой и кальцитом ангидрита и гипса материнской формации. Серо-(рудо-)образование происходит на инфильтрационном этапе развития территории в результате бактериальной сульфатредукции (с использованием битума) и последующего окисления сероводорода. Весовое соотношение возникающих новообразований серы и кальцита близко к 1:3. Это определяет среднее содержание (25%) серы в рудах, развивающихся за счет чисто сульфатных пород. Такая цифра характерна для высокосортных руд многих месторождений (кепроки солянокупольных структур США, Мексики и Мишрака в Ираке, месторождения Прикарпатье, Гаурдак и др.). При возникновении серных руд за счет сульфатной составляющей пород смешанного состава (карбонатно-сульфатных, мергельно-сульфатных и т. п.) содержание в них серы, как правило, соответственно ниже (многие месторождения Восточно-Европейской провинции, Шорсу и др.). Таким образом, присутствие в исходной галогенной формации сульфатов (ангидрита, гипса) — эдукта самородной серы — определяет саму возможность оруденения и его характер, а наличие достаточно мощных сульфатных пластов лимитирует возможность возникновения крупных залежей.

Связь основных промышленных месторождений и проявлений серы с определенными типами материнских галогенных формаций отражена в таблице.

Типы материнских для серообразования галогенных формаций и связь с ними месторождений серы и серопроявлений в СССР

Компоненты негалогенного состава	Галогенные составляющие формации		
	Сульфатные (ангидрит, гипс)	Соляные и сульфатные (каменная и калийные соли, ангидрит, гипс)	Соляные (каменная и калийные соли, ангидрита и гипса мало)
Карбонатные	Карбонатно-сульфатные А. Прикарпатье (Подорожное, Роздол, Язово и др.) А. Южно-Туркменская группа (Карабиль, Мейлегеран и др.) А. Омuleвское поднятие (Якутия)	Карбонатно-сульфатно-соляные А. Гаурдак А. Нордвик-Хатангский район Б. Мирный Б. Среднее течение р. Лены	Карбонатно-соляные
Глинисто-карбонатные и мергельные	Мергельно-сульфатные и глинисто-карбонатно-сульфатные Б. Восточно-Европейская провинция (Водино, Алексеевское и др.) Б. Ферганская группа (Шорсу, Октябрьское, Чангырташ, Риштан) Б. Южно-Таджикская группа Б. Тас-Хаях-Тух (Усть-Адыча) — в Якутии Б. Норильский район	Мергельно-сульфатно-соляные и глинисто-карбонатно-сульфатно-соляные Б. Иркутский амфитеатр	Мергельно-соляные и глинисто-карбонатно-соляные
Песчано-глинисто-карбонатные и песчано-мергельные	Терригенно-карбонатно-(мергельно)-сульфатные В. Красноводская группа В. Западные отроги Копетдага В. Олекма	Терригенно-карбонатно-(мергельно)-сульфатно-соляные	Терригенно-карбонатно-(мергельно)-соляные
Песчаные	Терригенно-сульфатные	Терригенно-сульфатно-соляные	Терригенно-соляные Б. Трускавец

Примечание 1. Качество руд (установленное для месторождений; предполагаемое — для районов с серопроявлениями): А — высокосортные руды со средним содержанием S 25%; В — средне- и низкосортные руды — 20—10% S; Б — бедные и непромышленные руды — меньше 10% S.

Примечание 2. Примеры разномасштабных месторождений: очень крупные, крупные, средние, мелкие месторождения — Прикарпатье (Подорожное и др.); мелкие месторождения и наиболее крупные серопроявления — Ферганская группа (Шорсу, Октябрьское и др.); серопроявления среднего масштаба — Южно-Таджикская группа; минералогические серопроявления — Олекма,

Вулканогенные месторождения серы, известные в СССР на Курилах и Камчатке, связаны с андезитовой формацией. Они приурочены к вулканическим сооружениям, действующим и в настоящее время. Серообразование сопряжено с сублимационно-гидротермальной и фуморальной деятельностью. Среди нескольких генетических типов вулканогенных месторождений и серопроявлений наиболее важным Г. М. Власов считает импрегнационно-метасоматический (1969, 1971). Содержание серы в рудах этого типа часто превышает 25—30% и иногда — 40%. Однако и среди них не известно месторождений, сравнимых по масштабам с крупными экзогенными не только в СССР, но и за рубежом.

Критерии прогнозной оценки территории на серу

При определении ведущих критериев прогнозной оценки мы исходим из того теперь твердо установленного факта (однозначно подтвержденного анализами стабильных изотопов серы и углерода), что все промышленные крупные экзогенные месторождения самородной серы возникли в основном за счет серы сульфата (ангидрита, гипса) материнской галогенной формации. Отсюда следует, что в любых формациях, лишенных этого компонента, содержащих его в ничтожном количестве или в рассеянном виде, не может возникнуть сколь-либо крупных залежей кондиционных серных руд. Следовательно, наличие галогенной сульфатоносной формации является первым определяющим и совершенно необходимым условием возникновения месторождений самородной серы. Этот критерий мы считаем ведущим при прогнозах и геологосъемочных работах любого масштаба. Второе необходимое условие — это особенности вещественного состава (и строения) исходной галогенной формации — присутствие в ней (или в непосредственном с ней контакте) горизонтов пород, более проницаемых, чем практически непроницаемые галогенные составляющие формации. Серные залежи в сульфатном (сульфатоносном) слое возникают, как правило, прежде всего в его частях, смежных с водо-нефтеносными горизонтами, какими обычно являются карбонатные слои, а также с тектоническими нарушениями, тоже являющимися путями движения растворов, в том числе серообразующих.

При мелкомасштабных исследованиях могут быть не отмечены особенности строения галогенной формации, определяющие возможность массового серообразования. При геологосъемочных работах крупного масштаба выявление всех таких особенностей и определение характера их изменения по латерали является обязательным. При проведении работ должны быть обязательно изучены или уточнены мощность и вещественный состав всех сульфатоносных подразделений (главный лимитирующий показатель возможного масштаба оруденения), дана количественная оценка сульфатоносности этих подразделений, выявлено наличие в них несulfатных составляющих, их количество и характер распределения в массе сульфатов (факторы, определяющие возможное качество руд), установлено взаимоотношение сульфатоносных подразделений с несulfатными, прежде всего с карбонатными слоями (показатель вероятного положения серных залежей в разрезе) и т. п.

Существенной геологической предпосылкой обычно считается стратиграфическая приуроченность серных месторождений. Хотя месторождения серы можно причислить к стратиформным, однако указанную предпосылку мы не относим к важным, поскольку возникновение в этих формациях месторождений серы оторвано от периода седиментации и не зависит от возраста формации. Образование месторождений серы связано с гораздо более поздними наложенными гипергенными процессами (включая и современные).

Серообразование возможно и в формациях первоначально соленосных. На ранних стадиях гипергенеза происходит их расслоение (в первую очередь обычно верхних частей), сопровождающееся концентрацией рассеянных сульфатных составляющих, за счет которых в дальнейшем могут возникнуть серные залежи. Примером являются крупнейшие в мире месторождения серы в кепроках солянокупольных структур Примексиканской впадины (США, Мексика), где серные залежи развиваются на границе карбонатной и нижележащей гипсо-ангидритовой зон кепроков. Наличие признаков гипергенных преобразований в породах галогенных формаций является конкретным показателем вероятности развития в них и серообразования как одного из возможных этапов гипергенеза. Установленная связь серообразования со стадией гипергенной десульфатизации пород позволяет рекомендовать зоны проявления последней как наиболее перспективные (при наличии суммы других благоприятных для массового серообразования условий).

При исследованиях любого масштаба мы считаем обязательным фиксацию зон гипергенеза, их оконтуривание, изучение внутренней зональности, степени гипергенной преобразованности пород на разных уровнях среза, выявление выделений серы и комплекса парагенных ей минералов, в том числе на более низких уровнях зоны гипергенеза. Обнаружение продуктов окисления серных руд — «шляпы» серной залежи — является, естественно, уже прямым поисковым признаком.

Особенности гидрогеологической, в частности гидрохимической, зональности относятся к числу общих, региональных и локальных предпосылок. Многие из этих особенностей в галогенных формациях определяются процессами гипергенного взаимодействия в системе порода — вода, точнее, порода — вода — газ. В частности, сульфатность вод, характерная для зоны серообразования (сульфатные и хлоридно-сульфатные воды), обычно связана с процессами гипергенной десульфатизации материнской формации. Поэтому особое значение приобретает изучение процессов гипергенеза в тесной увязке с гидрохимическими исследованиями, прежде всего при крупномасштабных работах, когда возможны наблюдения в пределах отдельных положительных структур II—IV порядков, с которыми наиболее часто связано формирование серных залежей. Такие исследования рационально проводить также в комплексе с геоморфологическими наблюдениями и палеогеоморфологическими реконструкциями. Следует отметить необходимость фиксации и выполнения наблюдений над любыми сероводородсодержащими источниками.

Важной и давно подмеченной специфической чертой серных месторождений является их территориальное тяготение к нефтегазоносным районам, обусловленное генетической связью самородной серы с углеводородами, что доказано геологическими наблюдениями и данными анализа стабильных изотопов углерода. Углеводороды являются «энергетическим резервом» (А. С. Соколов), обеспечивающим сульфатредукцию с образованием сероводорода и уголекислоты, т. е. возможность рудообразования (отложения серы совместно с вторичным кальцитом). Такая связь выражается в широкой территориальной приуроченности месторождений серы к нефтегазоносным бассейнам или к оконтуривающим их площадям и является важной предпосылкой общего и регионального значения. При крупномасштабных исследованиях она может не проявиться, в частности потому, что нефтегазовые месторождения связаны со структурами гидрогеологически закрытыми, в то время как серные возникают лишь при их фаскритости (хотя и ограниченной).

Одной из главнейших тектонических предпосылок считается геоструктурная приуроченность серных месторождений к зонам сочленения структурных поднятий с прогибами, внутриплатформенным впа-

динам, синеклизам и т. п. Такая приуроченность действительно существует. Однако мы рассматриваем ее (так же как и стратиграфическую приуроченность) как унаследованную от этапа осадконакопления, отражающую геоструктурные особенности распространения материнских галогенных формаций, отлагавшихся именно в таких зонах (Н. М. Страхов, А. А. Иванов и др.). Приуроченность месторождений серы (сероносных бассейнов) к перечисленным геоструктурным зонам обуславливается также тем обстоятельством, что именно с этими зонами обычно связана нефтегазоносность.

Однако на фоне указанной унаследованности проявляется связь месторождений серы лишь с теми районами распространения галогенных формаций, которые в дальнейшем оказались тектонически подвижными. Это обстоятельство является условием возникновения гидрогеологически раскрытых структур и обстановок, геоморфологически благоприятных для хода процессов гипергенеза, включая массовое серообразование. Последнее происходит в сульфатном подразделении при нахождении его в переходной окислительно-восстановительной зоне (М. С. Гуревич и др.). Для роста серной залежи необходимо вертикальное перемещение этой зоны в пределах данного подразделения, что обеспечивается соответствующими перемещениями базисов эрозии.

Исследованиями 60-х годов выявлена связь серных залежей с прибрежными частями древних долин, имеющих глубокие погребенные врезы, дренировавшие галогенные формации. Образование указанных палеодолин и обусловленные этим процессы гипергенеза, сопровождающиеся формированием серных залежей, связаны в большинстве случаев с альпийским орогенезом (обычно начиная с конца неогена). А. И. Отрешко предложил именовать данный критерий палеогеографическим. Мы считаем более правильным называть его палеогеоморфологическим.

Целенаправленные наблюдения в регионах развития галогенных формаций, освещающие историю неотектонических движений, геоморфологического и палеогеоморфологического развития территории, изучение погребенной гидрографической сети, восстановление колебаний базисов эрозии (главного и местных) — эти исследования должны являться обязательным элементом при крупномасштабных геологосъемочных работах и специализированных исследованиях. Без них крупномасштабное прогнозирование лишается весьма важного критерия.

Существенными критериями могут явиться также данные анализов стабильных изотопов серы и углерода, а также микробиологические показатели при обязательном их сочетании с исследованием гипергенных процессов и палеогеоморфологическими наблюдениями.

При оценке перспектив сероносности ряда регионов СССР на экзогенные месторождения серы, руководствуясь прежде всего литолого-фациальными критериями, мы ввели показатель, являющийся в какой-то мере количественным критерием возможных масштабов прогнозируемых месторождений этого типа. Изложенные ранее представления о генетической природе серных руд таких месторождений позволили заключить, что количество отложившейся серы в основном пропорционально количеству подвергшихся сульфатредукции сульфатов. Сера, возможно возникающая при этом дополнительно из сероводорода, поступающего извне (например, с глубины), лишь повышает количество и качество руд. Исходя из этого, можно полагать, что для образования залежей высокосортных серных руд со средним содержанием в них серы 25% и с запасами в 1 млн. т (т. е. промышленного месторождения мелкого по размерам) должно подвергнуться метасоматическому замещению рудой около 2 млн. м³ сульфата кальция (принимая средний объемный вес 2,25 т/м³). Этому количеству приблизительно соответствует масса ангидрита в его пласте мощностью около

20 м, протяженностью по простиранию 1 км и по падению 100 м. Указанные величины могут, естественно, взаимосвязанно меняться. При наличии пласта ангидрита (гипса), в той или иной мере «загрязненного» негалогенными компонентами, необходимый для возникновения месторождения объем сульфатоносных пород соответственно увеличивается, а качество возможных руд снижается.

Использование при прогнозировании рассмотренного показателя после общего литолого-фациального анализа территории позволяет предполагать возможности наличия месторождений соответствующего размера и качества в тех участках распространения формации, где имелись все другие критерии для их возникновения.

Оценка перспектив экзогенных месторождений серы

Оценивая с позиций рассмотренных выше критериев перспективы сероносности исследуемых территорий, можно констатировать для экзогенных месторождений следующее:

Прикарпатский сероносный бассейн. Перспективы собственно Прикарпатского бассейна — зоны сочленения платформы с Предкарпатским прогибом — не исчерпываются уже известными здесь крупными месторождениями высокосортных руд. Обнаружение новых месторождений возможно почти во всех районах развития неогеновых тирасских известняков при одновременном наличии подстилающего их ангидритогипсового (рудовмещающего) горизонта и при условии их соответствующего дренажа. Уточнение максимально перспективных участков сопряжено с углубленным литолого-фациальным и геоморфологическим анализом на основе уже имеющихся крупномасштабных геологических карт.

Среднеазиатская сероносная провинция. 1. Наиболее высокоперспективной здесь является верхнеюрская галогенная формация юго-западных отрогов Гиссарского хребта, включающая месторождение высокосортных руд Гаурдак и ряд серопроявлений. Здесь возможно обнаружение месторождений близкого масштаба, связанных тоже с низами ангидритовой толщи у ее контакта с гиссарскими известняками.

2. На этой же территории и на площади Южно-Таджикской депрессии высокоперспективной является палеогеновая галогенная формация. С ней могут быть связаны залежи несколько меньших размеров и с более бедными рудами, в силу глинистости отложений этой формации.

3. В Южно-Туркменском районе нижнепалеогеновая формация перспективна на обнаружение мелких месторождений или крупных серопроявлений, причем в районе Карабильского серопроявления — с высоко- и среднесортными рудами, а в районе Восточного Копетдага и Бадхыза — с несколько худшими по качеству.

4. Перспективной является ниже-среднепалеогеновая формация в обрамлении Ферганской депрессии, где известна группа мелких месторождений (крупных серопроявлений) со среднесортными рудами. Здесь можно ожидать новые месторождения того же масштаба и качества руд.

5. Перспективны на серу нижекаменноугольная формация Чу-Сарысуйской впадины, нижнепалеогеновая формация Бухаро-Хивинской впадины и нижнеогеновая Предустюртского района, где руды могут быть, видимо, лишь средне- и низкосортными, и крупных по запасам месторождений ожидать трудно.

6. Высокоперспективна верхнеогеновая формация Красноводского п-ова и Западно-Туркменской низменности, где известны многочисленные серопроявления. Однако низкая, преимущественно рассеянная

сульфатоносность этой формации позволяет ожидать здесь лишь низкосортные руды.

7. Недостаточно ясными из-за слабой изученности являются перспективы галогенных формаций ряда других районов Средней Азии: верхнеюрской в Центральном Копетдаге и Репетекской солянокупольной зоне, нижнемеловой в Восточном Копетдаге, меловой в Южно-Таджикской депрессии, нижнеэоценовой в районе Устюрта и Заунгузских Каракумов, верхнедевонской в солянокупольной области Чу-Сарысульской впадины. Крупные месторождения высокосортных руд здесь маловероятны.

Восточная Сибирь. На территории Восточной Сибири не известно месторождений серы, несмотря на проводившиеся начиная с 1958 г. в ряде южных ее районов специализированные исследования. Это характеризует сложность положительного разрешения проблемы. Так как потребность в серном сырье здесь особо остра, то при оценке перспектив сероносности на экзогенные месторождения мы учитывали районы и участки, в которых можно предполагать наличие серных залежей даже небольших масштабов с вероятными запасами и менее 1 млн. т серы; такие залежи могут быть местным источником сырья.

В пределах распространения кембрийской галогенной формации можно ожидать наличие лишь средних и мелких месторождений, преимущественно со среднесортными рудами в силу доломитности и нередко глинистости сульфатоносных подразделений. В нижних ее частях (юдейская сульфатоносная свита) такие залежи возможны в зоне развития этой свиты по рекам Олекма и Толба, где выявлены благоприятные для этого условия. В верхних частях формации (ангарская свита и ее аналоги) перспективны площади главным образом в периферийных районах Иркутского амфитеатра. Возможно, перспективен ряд структур в зоне Непских складок и, в меньшей мере, в нижнем Приангарье. Перспективны площади в среднем течении р. Лены (к востоку от г. Олекминска) и в районе г. Мирного. Во всех этих районах особо важным является проведение соответствующих специализированных палеогеоморфологических исследований.

Перспективы сероносности галогенных формаций ордовика и сирура не ясны. Обнаружение в них сколько-нибудь крупных залежей серных руд, тем более высокосортных, едва ли возможно.

Галогенные формации девона в отличие от нижележащих являются в ряде районов Восточной Сибири перспективными для поисков месторождений серы, в том числе наиболее значительных по масштабам и с возможно высокосортными рудами. Сюда относятся: 1) Нордвик-Хатангский район с его солянокупольными структурами и развитым на некоторых из них мощным (до 300 м) сульфатным кепроком, содержащим серную минерализацию; 2) район Омудевского поднятия, где известны мощные (до 300 м) тела гипсов (с рудопроявлениями в них), подстилающиеся карбонатной толщей.

Западнее Омудевского поднятия значительно увеличивается глинистость формации, что снижает перспективы наличия высокосортных руд. Примерно в таком же положении в отношении возможного качества руд находится Норильский район и район хр. Сетте-Дабан.

Оценка перспектив вулканогенных месторождений серы

На Курилах и Камчатке известны многочисленные проявления вулканогенной серы и единичные мелкие ее месторождения (лишь одно из них, Новое, среднее по размеру). Они характеризуются богатыми рудами. Большая Курильская гряда и Камчатка перспективны в отношении открытия новых месторождений серы и увеличения запасов уже известных (Ю. С. Желубовский, 1972). Однако крупных серных место-

рождений, сравнимых по запасам с важнейшими экзогенными, среди них не предполагается.

До 1945 г. многие из серопроявлений разрабатывались Японией. Мы вполне согласны с Ю. С. Желубовским, считающим, что разработка не только месторождений, но и крупнейших серопроявлений (как это делала Япония) «могла бы в значительной мере удовлетворить потребности в сере предприятий Приморья, в первую очередь целлюлозно-бумажную промышленность Сахалина», что ликвидировало бы или свело до минимума дальние перевозки и импорт в эти районы.

Г. А. Беленицкая, М. С. Гуревич

МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРОВОДОРОДНОЙ СЕРЫ

В осадочных отложениях содержатся скопления газа, в составе которого, наряду с углеводородными компонентами, присутствует сероводород, составляющий незначительную и реже преобладающую часть газовой смеси. В единичных случаях H_2S образует самостоятельные залежи (Западно-Канадский, Примексиканский бассейны). Существующая технология промышленного извлечения элементарной серы из газа определяет значение подобных газовых скоплений как месторождений сероводородной серы. При содержании в газе $H_2S > 10\%$ (объемных) элементарная сера является основным продуктом добычи, 2—10% — сопродуктом и $< 2\%$ — побочным продуктом. Открытые в Советском Союзе месторождения сероводородсодержащих конденсатных газов содержат 5—7% H_2S .

Региональный прогноз месторождений сероводородной серы представляет новую важную составляющую общего прогноза сероносности территории. В то же время он дополняет характеристику ее газоносности при выделении тех площадей, где углеводородный газ не нуждается в предварительной очистке от H_2S до подачи его потребителю.

Основная предпосылка рассматриваемого прогноза вытекает из приуроченности месторождений сероводородной серы к нефтегазоносным бассейнам (НГБ), одновременно являющимися бассейнами артезианских подземных вод. Это обстоятельство определяет роль подземных вод как одного из главнейших условий формирования и сохранения газовых залежей, а также накопления в них сероводорода, процесс образования которого протекает в среде подземных вод.

Применительно к поставленной задаче целесообразно выделение сероводородсодержащих нефтегазоносных бассейнов (СНГБ), в пределах которых H_2S не только растворен в подземных водах и нефти, но и находится в свободном состоянии в газовых залежах и попутном газе. В этом смысле промышленно сероводородсодержащей обычно является не вся территория бассейна, а только его отдельные области, принципиально аналогичные ареалам промышленной нефтегазоносности, выделяемым внутри НГБ Н. Б. Вассоевичем (1962). Например, в Каракумском СНГБ, расположенном на западе Средней Азии, только его восточная часть соответствует области (Туркмено-Узбекской) промышленно сероводородсодержащих газов. Несколько таких областей находятся в пределах Волго-Уральского СНГБ.

При имеющей место недостаточной изученности распространенности, генезиса и условий накопления сероводорода в газовых залежах региональный прогноз месторождений сероводородной серы методически правильно основывать не столько на генетических, сколько на эмпирически выявленных закономерностях, вытекающих из анализа имеющихся фактических данных. Эти закономерности и зависимости

отражает предлагаемый комплекс взаимосвязанных прогнозных критериев: 1) литологических; 2) стратиграфических; 3) тектонических; 4) состава газа и нефти; 5) гидрогеохимических и гидродинамических; 6) геотермических. Выделенные критерии не равнозначны по своей прогнозной значимости, но в любом случае наиболее надежны лишь в своих внутри- и межгрупповых ассоциациях.

Возможности регионального прогноза месторождений сероводородной серы зависят от степени геологической и гидрогеологической изученности территории и от характера общего прогноза ее газоносности. Для слабо изученных возможно нефтегазонасных бассейнов он определяет возможность отнесения данного бассейна к типу сероводородсодержащих. Более полная изученность НГБ позволяет оценить перспективность его отдельных площадей и вероятное количественное содержание H_2S в газе. Зная прогнозные запасы газа в пределах данной территории, можно определить и запасы содержащейся в нем элементарной серы.

Литологические критерии

Среди геологических критериев наиболее важными представляются те, которые контролируют литолого-формационную специфику геологических и гидрогеологических разрезов СНГБ в целом и их отдельных частей.

1. Промышленно сероводородсодержащие НГБ земного шара пространственно совпадают с зонами развития наиболее мощных галогенных формаций, представляющих, по Н. М. Страхову, «узлы» галогенеза. Для таких формаций обычно характерны: большая мощность (несколько сот метров и более), ангидрито-галитовый состав при значительной мощности галитовой толщи, почти неизменное присутствие калийных солей, осложненность, хотя бы локальная, соляной толщи диапиризмом. Отмеченные черты прослеживаются для галогенных формаций, установленных в разрезах подавляющего большинства СНГБ мира. Они характеризуют разрез СНГБ в целом, но не обязательно выдерживаются в разрезах отдельных месторождений. Имеются единичные исключения, характерные для некоторых СНГБ межгорных впадин (Биг-Хорн в Скалистых горах, США).

Контуры распространения значительных концентраций H_2S в газе в пределах СНГБ близки к контурам распространения галитовых толщ этих формаций.

2. Помимо присутствия основной мощной галогенной формации, для разрезов СНГБ характерна обогащенность галогенными породами и вышележащих частей разреза: практически всегда сульфатными, а во многих случаях и галитовыми. Последние нередко образуют вторую соленосную галогенную формацию (СНГБ Волго-Уральский, Каракумский, Северо-Германской впадины и др.). Количество сульфатоносных формаций в разрезах достигает 3—4 (Каракумский бассейн).

3. Типичный для СНГБ формационный ряд в части разреза, наиболее обогащенной H_2S , включает триаду формаций, сменяющих друг друга в разрезе (иногда с латеральными переходами): карбонатная — галогенная — пестроцветная преобладающе терригенная, нередко содержащая слои сульфатно-карбонатных пород, часто меденосная.

4. Коллекторами, вмещающими залежи сероводородсодержащих газов, почти всегда являются карбонатные породы — известняки, доломиты и переходные между ними разновидности. Очень характерно присутствие рифогенных образований.

Данные, относящиеся к СНГБ Советского Союза и зарубежных стран, свидетельствуют, что наиболее перспективными для обнаружения скоплений сероводородсодержащих газов являются карбонатные

коллекторы, непосредственно контактирующие с ангидритами и занимающие довольно определенное положение в разрезе по отношению к галогенной формации: а) карбонатная формация, залегающая под галогенной, иногда сменяющая ее по латерали; б) кепроки соляных куполов; в) карбонатные горизонты внутри ангидритовой толщи галогенной формации; сульфатно-карбонатные слои внутри галитовой толщи; г) сульфатно-карбонатные комплексы в надсолевых отложениях разреза. При прочих равных условиях количественное содержание H_2S в газе зависит от степени удаленности по вертикали карбонатного коллектора от основной галогенной формации. Наибольшие содержания H_2S наблюдаются в трех первых случаях залегания коллекторов при непосредственном их контактировании с галогенной формацией; менее высокие содержания отмечаются в сульфатно-карбонатных комплексах стратиграфически более высоких горизонтов разреза. Вверх по разрезу концентрация H_2S в газе в целом последовательно снижается.

Таким образом, карбонатная и галогенная формации, занимающие смежное, реже близкое положение, являются комплексом, контролирующим максимальные концентрации H_2S в разрезе, и могут рассматриваться как его подразделения, наиболее перспективные в этом отношении.

Есть основания полагать, что в зонах выклинивания основной галогенной формации, на участках тектонических нарушений и на площадях проявления соляного диапиризма возможны локальные значительные повышения концентрации H_2S и в надсолевых частях разреза.

Стратиграфический критерий

Для мощных галогенных формаций, контролирующих вместе с карбонатными основные концентрации H_2S , прослежена связь с определенными отрезками стратиграфической шкалы: E_{1-2} , D_{2-3} , P_{1-2} (Т?), J_3 , N_1 . Те нефтегазоносные бассейны, в разрезе которых установлены или предполагаются галогенные формации одного из этих возрастных интервалов, видимо, являются наиболее перспективными.

Тектонические критерии

1. По своему геотектоническому положению СНГБ приурочены к крупным впадинам земной коры, среди которых можно выделить две основные группы: а) краевые прогибы (их внешние крылья, наложенные на склоны платформ) с прилежащими к ним крупными впадинами склонов платформ (краевые системы, по Н. С. Шатскому), реже — соединяющиеся с ними глубокие внутриплатформенные впадины; б) межгорные впадины внутри складчатых и эпиплатформенных орогенных областей.

2. Структурный контроль скоплений сероводородсодержащих газов в целом тот же, что и любых газовых месторождений; однако во многих случаях в пределах СНГБ устанавливается преимущественная приуроченность наиболее высоких концентраций H_2S к структурам, связанным с рифовыми комплексами или с отдельными рифами, нередко образующими линейные зоны, подчиненные крупным разломам (СНГБ Волго-Уральский, Каракумский, Западно-Канадский, Пермской впадины и др.). Высокие концентрации H_2S характерны также для диапировых структур (СНГБ Примексиканской впадины, Аквитанский и др.). Обе эти группы структур имеют широкое распространение в пределах СНГБ и могут рассматриваться как весьма перспективные.

В отличие от всех описанных выше, структурные критерии могут иметь значение и как локальные.

Критерии, связанные с составом газа и нефти

Группа относящихся сюда критериев охватывает наиболее существенные для прогноза особенности состава природного газа и нефти, а также закономерности пространственного изменения содержания H_2S .

1. В разрезах СНГБ наиболее значительные концентрации сероводорода связаны с газоконденсатными залежами; в скоплениях сухого метанового газа H_2S отсутствует или находится в незначительном количестве.

Содержание H_2S в газе возрастает в направлении увеличения глубины залегания и пластовой температуры нефтегазоносного литолого-стратиграфического комплекса. Эта закономерность осложнена вертикальной миграцией газа, что приводит к проникновению части сероводородсодержащих газов на гипсометрически более высокие уровни разреза с менее высокой температурой. Увеличение содержания H_2S в газе в направлении погружения газоносных отложений установлено для отдельных литолого-стратиграфических комплексов Западно-Канадского бассейна (Шоу, 1967), Каракумского и юго-восточной части Волго-Уральского СНГБ. Другим проявлением той же закономерности является показанное К. Летраном (1971) на примере Аквитанского бассейна возрастание количества адсорбированного сероводорода в породах по мере увеличения глубины их залегания и пластовой температуры.

В региональном плане СНГБ увеличение содержания H_2S в газе подчиняется определенной зональности, на основании которой возможно выделение внутри бассейна зон (площадей) с различным вероятным содержанием сероводорода в газе.

Необходимо иметь в виду, что наряду с отмеченной региональной зональностью количественного распределения H_2S в газе, существует локальная зональность этого же типа, отчетливо прослеживаемая в пределах крупных газоносных структур (Оренбургский вал Волго-Уральского СНГБ и Денгизкульский вал Каракумского СНГБ).

2. Результаты изучения изотопного состава сероводородной серы свидетельствуют, что в сероводороде газовых залежей она регионально более обогащена S^{34} по сравнению с сероводородом, распространенным в верхних частях геологического разреза в зоне гипергенеза.

3. Наблюдается сходство приуроченности залежей сероводородсодержащих газов и сернистых нефтей к однотипным карбонатно-сульфатным комплексам. По данным О. А. Радченко (1967), 90% платформенных залежей сернистых нефтей земного шара залегают в частях геологического разреза, смежных с эвапоритовыми отложениями, причем в преобладающем числе случаев нефтеносными являются карбонатные породы. Отмеченная общность литологических условий позволяет использовать наличие сернистых нефтей в НГБ, при учете других показателей, как критерий вероятности присутствия H_2S в газовых залежах.

Наличие в составе сероводородсодержащих конденсатных газов меркаптанов, сульфидов и дисульфидов, а также намечающееся сходство группового состава серы конденсатов и сернистых нефтей подтверждает значение последних как показателя возможного присутствия H_2S в составе газовых залежей.

Гидрогеохимические и гидродинамические критерии

Для регионального прогноза эти критерии наиболее показательны в своем пространственном проявлении, фиксируемом гидродинамической и гидрогеохимической зональностью. Оба типа зональности со-

путствуют региональным закономерностям изменения состава газовых залежей и содержания в них сероводорода.

1. Концентрирование H_2S в газе связано с зонами затрудненного и, главным образом, наиболее затрудненного водообмена. В геологических условиях СНГБ наиболее хорошая гидрогеологическая закрытость, способствующая накоплению сероводорода, свойственна подземным водам и газам подсолевых и межсолевых отложений.

2. Массовый расчет на ЭВМ насыщенности сульфатами подземных вод разновозрастных подсолевых карбонатных толщ, вмещающих залежи сероводородсодержащих газов (Каракумский СНГБ, юго-восточная область Волго-Уральского СНГБ), указывает, по данным В. Н. Озябкина, на их пересыщенность. Величина пересыщения зонально уменьшается от краевых к центральным частям артезианских бассейнов первого и второго порядка. В центральных, наиболее погруженных частях бассейнов она является наименьшей. Подземные воды других литолого-стратиграфических комплексов, где залежи газа с примесью сероводорода отсутствуют, недонасыщены сульфатами. Для использования этих закономерностей в прогнозных целях практически важно, что содержание H_2S в газовых залежах возрастает в направлении уменьшения пересыщения воды сульфатами.

3. Широкая распространенность сероводородных вод и высокое количественное содержание в них растворенного H_2S в пределах прогнозируемой территории приобретает значение положительного критерия наличия промышленно сероводородсодержащих газов только в сочетании с другими критериями и показателями.

Геотермические критерии

Необходимость привлечения геотермических данных при прогнозной оценке территории в отношении залежей сероводородной серы вытекает из разных гипотез происхождения H_2S в результате превращений и гидрогенизации сероорганических соединений рассеянного органического вещества и деструкции нефти (В. А. Соколов, Р. Д. Оболенцев, Л. А. Анисимов, Н. В. Лопакин и др.). Хотя соответствующие реакции термодинамически вероятны как при низкой, так и высокой температуре, повышение температуры, как термokatализ, влечет ускорение образования сероводорода. Отсюда очевидно значение геотермического градиента как прогнозного критерия.

При сохранении других необходимых условий наиболее перспективными являются площади, в разрезе которых сульфатно-карбонатные комплексы находятся в зоне повышенной температуры. В преобладающей своей части залежи газа с содержанием H_2S , превышающим 1% (объемный), находятся на глубинах, где современная температура минимально 70—80°С и достигает 140° и выше. Однако имеются немногочисленные отклонения, к числу которых относится Оренбургское газоконденсатное месторождение.

Для разрезов СНГБ в целом, и особенно для выделенной выше триады формаций, характерна геохимическая закономерность, заключающаяся в обогащенности их соединениями серы в разных фазовых и валентных формах. Среди них наиболее типичны сульфатные минералы, определяющие отмечающуюся выше чрезвычайно высокую сульфатонасыщенность разреза, сульфидные минералы, особенно характерные для пестроцветной формации, с которой связаны стратифицированные месторождения меди типа медистых сланцев и песчаников, а также сероорганические соединения нефтей и конденсатов. К карбонатно-сульфатным комплексам в зоне гипергенеза приурочены залежи самородной серы эпигенетического типа.

Для прогноза общей сероносности территории важно, что залежи самородной серы, связанные с основной галогенной формацией (за исключением приуроченных к кепрокам и зонам вертикальной миграции сероводорода по тектоническим нарушениям), располагаются вне областей распространения скоплений промышленно сероводородсодержащих газов, но вдоль их контуров.

На территории Советского Союза, помимо уже установленного присутствия залежей сероводородсодержащих газов в Каракумском, Волго-Уральском НГБ, по литологическим, газовым и другим критериям перспективны в этом отношении также нефтегазоносные бассейны: Тунгусский, Иркутский, южная часть Верхнепечорской впадины Тимано-Печорского, Прикаспийский, а также Днепровско-Донецкая, Южно-Таджикская, Ферганская впадины и др.

Специальной разработки требует методика составления карт прогноза сероводородной серы. Опыт составления подобной карты м-ба 1:1 000 000 для верхнеюрских отложений Каракумского СНГБ, где уже обнаружены месторождения сероводородсодержащих газов, указывает на возможность выделения площадей разной перспективности с количественной оценкой вероятного содержания H_2S в газе.

ГОРЮЧИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Г. Д. Петровский

МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЯ И ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Среди горючих полезных ископаемых важное значение в топливно-энергетическом балансе страны сохраняет уголь. В пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. предусмотрено значительное развитие угольной промышленности с доведением добычи угля в 1975 г. до 685—695 млн. т.

Советский Союз располагает самыми крупными в мире геологическими и разведанными запасами углей. В нем известно более 30 угольных бассейнов и 650 месторождений, общегеологические запасы которых определены в количестве 6790 млрд. т, в том числе разведанных кондиционных запасов промышленных категорий А+В+С₁ — 256 млрд. т или 4%. При этом запасы каменных углей подсчитывались до глубины 1800 м, а бурых до 600 м.

Разведанными запасами угля обеспечены не только действующие и строящиеся шахты, но создан также резерв для дальнейшего развития угольной промышленности в европейской части СССР, на Урале, в Казахстане, Средней Азии и в южных частях Западной и Восточной Сибири. Здесь сосредоточено 2133 млрд. т, или 31% общесоюзных геологических запасов и 234 млрд. т, или 11% разведанных промышленных категорий. Наиболее слабо изучен Печорский бассейн, где запасы промышленных категорий составляют лишь 4% от общих запасов бассейна. Совсем не изучена Обь-Иртышская угленосная площадь с прогнозными запасами 48,8 млрд. т.

Основные геологические запасы углей приурочены к восточным районам страны, где находится 69% общесоюзных геологических запасов, составляющих 4657 млрд. т (в Тунгусском бассейне — 2 345 млрд. т, Ленском — 1703 млрд. т, Таймырском — 234 млрд. т, Зырянском — 50 млрд. т,

Южно-Якутском — 23 млрд. т.). На долю разведанных кондиционных запасов приходится только 22 млрд. т, или 0,5%, что указывает на необходимость планомерного проведения поисковых и разведочных работ в целях возможности планирования размещения угледобывающих предприятий.

Из других видов твердых горючих ископаемых в нашей стране широко распространены горючие сланцы, которые могут рассматриваться не только как энергетическое топливо, но и как источник получения жидкого горючего и химического сырья. По современным данным, геологические запасы горючих сланцев в СССР составляют 154 млрд. т, в том числе на долю разведанных запасов промышленных категорий $A+B+C_1$ приходится 6,44 млрд. т, или 4%, что указывает на низкую степень разведанности. Запасами высоких категорий обеспечены действующие шахты и создан резерв для дальнейшего развития сланцевой промышленности на Эстонском, Ленинградском и Кашпирском месторождениях.

Главнейшие типы угленосных формаций

В основе классификации, разработанной Г. А. Ивановым, лежит геотектонический режим, который в условиях гумидного климата определил смену во времени и на поверхности земли все разнообразие условий образования групп и типов угленосных формаций, а также масштабы углеобразования и качество углей.

Выделенные группы и типы угленосных формаций, с распределением в них геологических запасов по возрасту (подсчет 1968 г.), приведены в таблице,* из которой видно, что подавляющее количество запасов угля (3509,77 млрд. т) сосредоточено в формациях древних устойчивых платформ, причем 32% их приходится на бурые угли пермского возраста в Тунгусском бассейне. Второе место занимают запасы углей позднемезозойского возраста ($J_3 - K_1$), составляя 12% всех запасов, содержащихся в основном в приплатформенной части Ленского бассейна. Третье место (3%) принадлежит бурым углям раннемезозойского возраста ($J_1 - J_2$), приуроченных в основном к Канской части Канско-Ачинского бассейна. Четвертое место (2,5%) приходится на запасы бурых углей карбонового возраста, залегающих в Тунгусском бассейне. На пятом месте находятся запасы бурых углей кайнозойского возраста (1,8%), в основном приуроченные к Лено-Алданской угленосной площади.

Вторым главнейшим типом угленосных формаций по запасам углей (32% общих геологических запасов) и первым по качеству углей (коксуемые угли) являются формации передовых прогибов геосинклинальной группы. При этом основные запасы этой группы углей принадлежат к пермскому возрасту и сосредоточены в Кузнецком (641 млрд. т), Таймырском (234 млрд. т) и Печорском (214 млрд. т) бассейнах. Запасы позднемезозойского возраста ($J_3 - K$) сосредоточены в основном в Ленском бассейне. Значительно меньшие запасы этой формации содержатся в карбоновых углях Донецкого (128 млрд. т) и Кузнецкого (60 млрд. т) бассейнов.

На долю формации устойчивых молодых платформ приходится 8,1% от общих запасов СССР, приуроченных главным образом к угленосным формациям раннемезозойского возраста ($J_1 - J_2$) Чульмо-Енисейской части Канско-Ачинского бассейна (401 млрд. т) и Обь-Иртышской угленосной площади (48,8 млрд. т).

Запасы угля молодых активизированных платформ составляют 3,6% всех запасов, причем большая часть их приходится на раннемезозойский

* Таблица составлена на основании распределения месторождений угля по типу угленосных формаций, приведенного в монографии «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», т. 12, гл. 1.

Распределение геологических запасов углей СССР (подсчет на 1968 г.) по угленосным формациям и их возрасту, млрд. т

Возраст угленосных формаций	Группы и типы угленосных формаций									
	Геосинклиальная			Промежу- точная	Платформенная				Общие запасы угля	
	внутренних прогибов	внешних прогибов	передовых прогибов		молодых платформ		древних платформ			
					относительно устойчивых	активизиро- ванных	устойчивых	активизиро- ванных	млрд. т	%
Девон	—	—	0,08	—	—	—	—	—	0,08	
Карбон	1,02	58,08	203,32	36,77	—	—	177,90	—	477,09	7
Пермь	—	0,34	1095,50	14,76	—	—	2181,00	—	3291,60	49
Ранний мезозой	0,81	—	26,31	1,34	507,64	124,00	207,93	76,68	944,71	14
в том числе: Т	0,81	—	—	—	—	0,18	—	—	0,99	
Т—J ₁	—	—	—	—	2,83	71,40	0,56	—	74,79	1
J ₁ —J ₂	—	—	26,31	1,34	504,81	52,46	207,37	76,68	868,30	13
Поздний мезозой	0,07	4,54	824,64	10,96	24,90	19,47	819,30	30,06	1733,97	25
в том числе: J ₃	—	—	—	2,19	—	17,84	—	—	20,03	0,4
J ₃ —K ₁	—	—	755,66	—	—	—	819,30	30,06	1605,02	23
K ₂	0,07	4,54	68,98	8,77	24,90	1,63	—	—	108,89	1,6
Кайнозой	108,63	—	0,01	—	16,10	94,86	123,64	—	343,24	5
в том числе: Pg	88,65	—	—	—	16,10	37,46	0,59	—	142,84	2,1
Pg+N	—	—	—	—	—	31,76	10,00	—	41,76	0,6
N	19,98	—	0,01	—	—	25,64	113,05	—	158,68	2,3
Итого в млрд. т	110,53	62,96	2149,86	63,83	548,64	238,33	3509,77	106,74	6790,66	
Итого в %	1,5	1	32	1	8,1	3,6	51,3	1,5		

возраст и приурочена к Тургайскому (61,9 млрд. т), Кузнецкому (18,7 млрд. т) и Улугхемскому бассейнам. На кайнозойский возраст приходится 1,4% всех запасов, распространенных на Дальнем Востоке и Северо-Востоке СССР.

Остальные угленосные формации — внутренних и внешних прогибов геосинклинального типа, промежуточного типа, а также древних активизированных платформ, — характеризуются ограниченными запасами, составляя только 5% всех геологических запасов и 4,5% разведанных кондиционных.

Геологические запасы горючих сланцев также сосредоточены в основном в формациях древних устойчивых платформ и составляют 94% от всех запасов (144,61 млрд. т). На долю разведанных запасов здесь приходится 6,43 млрд. т или 99%.

На горючие сланцы кембрийского возраста падает 111,8 млрд. т или 72,8% (Оленекский сланцевый бассейн), позднеюрского — 14,26 млрд. т или 9,2% (Воронежский бассейн), ордовикского — 13,31 млрд. т или 8,6% (Прибалтийский бассейн) и верхнедевонского — 5,24 млрд. т или 3,4% (Припятский район).

Значительно меньшими запасами горючих сланцев характеризуется формация молодых относительно устойчивых платформ, где содержится 8,11 млрд. т или 5% от всех запасов. На сланцы позднеюрского возраста приходится 8 млрд. т (Печорская провинция Волжского бассейна) и на сланцы неогенового возраста — 0,11 млрд. т (Казахская ССР и республики Средней Азии).

На долю формаций передовых прогибов и промежуточной группы приходится только 1% или 0,6 млрд. т.

Бесперспективными на горючие сланцы являются формации внутренних и внешних прогибов геосинклинального типа, а также молодых и древних активизированных платформ.

Критерии прогноза угленосности территории СССР

Анализ огромного фактического материала по угленосности, содержащийся в 10 региональных томах монографии «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», выполненный коллективом отдела геологии угля и горючих сланцев ВСЕГЕИ, позволили использовать в качестве критерия прогноза геотектонические условия образования угленосных формаций. Основой прогноза угленосности является, с одной стороны, формационный критерий, с другой — возрастной признак. Формационный критерий позволяет отчетливо выявить комплекс геотектонических условий формирования угольных и сланцевосных бассейнов и месторождений и установить связь с ними качества и запасов как углей, так и горючих сланцев.

По степени достоверности угленосности и сланцевосности следует выделить четыре категории площадей: 1) с установленной угленосностью и сланцевосностью, в основном разведанные, освоенные и осваиваемые промышленностью; 2) с предполагаемой перспективной угленосностью и сланцевосностью (вероятной и возможной), установленной по единичным скважинам, обнажениям и общим геологическим данным, которые заслуживают постановки поисково-разведочных работ; 3) неясные в отношении угленосности и сланцевосности, характеризующиеся слабой геологической изученностью, или когда предполагаемые угленосные и сланцевосные отложения залегают под покровом более молодых осадков. На таких площадях требуется проведение геологической съемки включительно до масштаба 1 : 50 000, сопровождаемой геофизическими исследованиями и бурением поисковых скважин; 4) перекрытые вулканогенными образованиями, более молодыми, чем угленосные, для которых также необходимо проведение геологических съемок до масштаба 1 : 50 000 в комплексе с геофизическими работами и бурением поисковых скважин.

Для характеристики степени угленосности и сланценосности отдельных бассейнов и месторождений важным критерием является количество пластов угля и горючих сланцев и их суммарная мощность. Качество углей определяется марочным и петрографическим составом, зольностью, характеристикой золы с указанием возможного использования ее в народном хозяйстве. Для горючих сланцев приводится теплота сгорания на рабочее топливо. Кроме того, необходимо выделение в особую категорию участков угленосных формаций, содержащих пласты угля свыше 10 м, и из них пригодные для открытой разработки.

В соответствии с решением плановых органов о направлении расширения сырьевой базы топливной промышленности в определенных экономических районах, масштабах добычи и качества (марок) углей и типов горючих сланцев приведенные данные о типах формаций позволят в первом приближении определить объемы и характер геологосъемочных и разведочных работ.

Основными региональными критериями при постановке геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 на площадях с предполагаемой и особенно неясной угленосностью и сланценосностью с целью выяснения прогнозной оценки являются геотектонический, стратиграфический и литологический.

Геотектонические критерии, как было сказано выше, предопределяют те или иные условия образования угленосных формаций. Главнейшими угленосными и сланцевыми формациями, с которыми связана наиболее высокая угленосность и сланценосность, являются древние устойчивые платформы, передовые прогибы геосинклиналей, устойчивые и активизированные платформы (см. таблицу).

Стратиграфические критерии заключаются в том, что наибольшая угленосность приурочена к формациям карбона, перми, юры и мела (см. таблицу), хотя она и установлена во всех стратиграфических подразделениях, начиная от девона до неогена включительно. Наибольшая же сланценосность приурочена к кембрию, ордовику, юре.

Литологические критерии определяются своеобразным фациальным составом (континентальные и прибрежно-морские осадки) угленосных и сланцевых формаций. Такие признаки, как характер ритмичности, присутствие флоры и фауны и др., изменяются в пределах каждой формации, характеризуя отдельные ее части.

К локальным признакам угленосности и сланценосности при геологической съемке обычно относятся: выходы угленосных и сланцевых пластов или сажи на поверхности; наличие родников и водоносных горизонтов, часто связанных с пластами угля; следы древних пожаров; отвалы угля, сланцев и углистых (сланцевых) пород; гальки угля и сланцев в аллювии рек, ручьев; выбросы угля или сланцев и угольной сажи из нор животных и др.

Проведение геологической съемки масштаба 1 : 50 000 должно сопровождаться поисково-геофизическими исследованиями, позволяющими выяснить мощности покровных и угленосных образований, а также бурением структурных скважин и проходкой горноразведочных выработок для уточнения строения угольных пластов и качества углей. Эффективность съемочных и поисковых работ может быть усилена за счет применения аэрофотосъемки.

Параллельно с описанием угольных пластов из всех выработок производится отбор проб для химического и петрографического анализов и выборочно для технологических исследований коксующихся углей. Необходимо изучить и химический состав золы для определения возможности использования ее в народном хозяйстве (алюминиевое сырье, производство цемента, известковое и фосфористое удобрения), а также выявления малых, редких и рассеянных элементов.

Кроме изучения пластов углей и горючих сланцев, должна быть дана оценка других полезных ископаемых, связанных с породами угленосной и сланценосной формации (формовочные и стекольные пески, огнеупорные глины и др.). Кроме того, в углях возможно присутствие большого количества сернокислого и лакокрасочного сырья в виде колчедана и включений смолы.

При проведении геологической съемки масштаба 1 : 50 000 является желательным выяснение строения области сноса и выявления содержания в породах редких и рассеянных элементов, как возможных потенциальных источников этих элементов в процессе образования руд.

Оценка перспектив угленосности и сланценосности СССР

На территории СССР основное значение по качеству (угли технологических марок) и запасам углей имеют угленосные формации передовых прогибов (см. таблицу). В европейской части СССР ими слагаются Донецкий и Печорский бассейны; в Западной Сибири — крупнейший по запасам Кузнецкий бассейн; в Средней Азии — с ограниченными запасами Узгенский бассейн и Фан-Ягнобское месторождение; в Казахстане — Карагандинский бассейн и ряд других карбоновых месторождений.

На Востоке СССР аналогичными формациями сложены Приверхо-янская часть Ленского бассейна, Буреинский и Зырянский бассейны и месторождения о. Сахалина.

Наиболее широкое распространение на территории СССР получили платформенные формации с подчиненными им бурыми углями. В частности, в европейской части небольшие запасы углей сосредоточены в Днепровском, Подмосковном, Южно-Уральском бассейнах и ряде месторождений Украинской и Белорусской республик; на восточном склоне Урала — в Челябинском бассейне и ряде других месторождений (Буланш-Елкинское и др.); в Средней Азии — на месторождениях Северного и Южного Тянь-Шаня; в Казахстане — в Тургайском и Желанчинском бассейнах и на других месторождениях; в Западной Сибири — на Обь-Иртышской угленосной площади; в Восточной Сибири — в Канско-Ачинском, Иркутском (бурые и каменные угли), Тунгусском (бурые с незначительным содержанием каменных углей) бассейнах и на многочисленных месторождениях Забайкалья, Амурской области, Хабаровского и Приморского краев и Северо-Востока СССР.

Формации внутренних и внешних прогибов геосинклиналей промежуточного типа и активизированных древних платформ, как следует из таблицы, не имеют большого практического значения. Особого внимания здесь заслуживает формация участка активизированной древней Сибирской платформы, на которой расположен Южно-Якутский бассейн, содержащий каменные угли преимущественно марок Ж и К, дающих высококачественный металлургический кокс.

В европейской части СССР высококачественные горючие сланцы сосредоточены в Прибалтийском бассейне (Эстонское и Ленинградское месторождения) и на месторождениях Волжского бассейна и Припятского района. Низкокачественные горючие сланцы распространены в Закарпатье (минилитовые сланцы). В Средней Азии намечается обширная площадь возможного распространения горючих сланцев. В Восточной Сибири расположен крупный Оленекский бассейн горючих сланцев. Известен также ряд небольших месторождений на севере европейской части СССР, в Казахстане и Забайкалье.

Следует ожидать, что в ближайшее время новое шахтное строительство на угольных месторождениях будет развиваться в восточных районах страны и, в частности, в Якутской АССР (Южно-Якутский и Зырянский бассейны), Амурской и Магаданской областях и Приморском крае. Здесь также можно ожидать выявления новых перспективных участков

для разработки открытым способом. Новое шахтное строительство на месторождениях горючих сланцев предполагается в Волжском бассейне.

Имеющиеся данные о запасах и качестве углей указывают на возможность развития в необходимых масштабах добычи как энергетических углей, так и технологических (спекающихся и коксующихся) углей, малозольных тощих углей и антрацитов (термоантрацитов) и различного качества горючих сланцев. При геологической съемке следует учитывать необходимость обеспечения комплексности исследований по выявлению попутных полезных ископаемых, сопутствующих углям и вмещающим и перекрывающим породам угленосных толщ.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ

И. К. Зайцев

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В последние десятилетия природные воды, особенно соленые и рассольные, привлекают все большее внимание советских и зарубежных исследователей как возможный источник получения разнообразных промышленно-ценных химических элементов: магния, калия, йода, брома, лития, стронция, рубидия, цезия и др.

Природные соленые и рассольные воды, по мнению некоторых исследователей, можно рассматривать как своеобразные рудные формации. Так, Л. Н. Овчинников и Н. А. Солодов (1971) в числе цезиевоносных формаций называют формацию природных высокоминерализованных вод и выделяют несколько типов месторождений цезия и рубидия, связанных с нею. Однако следует отметить, что эта формация перспективна не только на цезий и рубидий, но и на многие другие полезные ископаемые, названные выше. Причем перспективными являются как поверхностные, так и подземные соленые воды и рассолы. Из поверхностных наибольшее внимание привлекают рассолы крупных озер, лагун и других засоленных водоемов, а из подземных — пластовые рассольные и соленые воды артезианских бассейнов, а также воды повышенной минерализации восходящих источников молодых складчатых областей, особенно областей современного вулканизма.

Для названных типов природных минеральных вод характерны существенно разные закономерности распространения и формирования, а в соответствии с этим и разные комплексы промышленных компонентов и степень их концентрации. Степень изученности их также различна.

Ниже рассматриваются главным образом закономерности распространения подземных соленых и рассольных вод артезианских бассейнов платформ и (отчасти) восходящих источников складчатых областей.

В течение последних 10—15 лет изучением подземных промышленных вод на территории СССР занимаются многие учреждения Министерства геологии, Академии наук и других ведомств. Собран обширный фактический материал, в обобщении которого решающую роль сыграли работы сотрудников ВСЕГЕИ и ВСЕГИНГЕО.

Составленные гидрогеохимические и другие специализированные карты разных масштабов, а также монографические описания позволили выяснить общие закономерности распространения подземных промыш-

ленных вод почти на всей территории СССР и определить наиболее перспективные районы.

Было также установлено, что степень изученности подземных вод и рассолов весьма неравномерна. Благодаря бурению глубоких скважин на нефть и газ сравнительно хорошо и на значительную глубину (3—5 км) изучены платформенные области и значительно хуже — складчатые. При этом наиболее полно изучены степень минерализации и макрокомпонентный химический состав подземных вод, содержание в них йода, брома и бора. О содержании других компонентов, таких, как литий, стронций, рубидий, цезий, германий и др., имеются лишь разрозненные сведения, которые позволяют говорить о закономерностях распространения названных химических элементов только в порядке прогноза, основанного на фактических данных по отдельным точкам и на общих георетических представлениях о гидрогеохимических закономерностях.

Сложившиеся представления о закономерностях распространения подземных промышленных вод разного химического состава кратко охарактеризованы ниже. Их необходимо учитывать геологам и гидрогеологам при производстве съемочно-поисковых работ различных масштабов.

Химический состав природных вод, а следовательно, и наличие в них тех или иных компонентов в промышленных концентрациях в значительной мере зависит от степени минерализации воды. С учетом этого подземные воды подразделяются на группы и подгруппы (таблица):

1. Пресные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный кальциевый или натриевый состав с небольшой примесью разнообразных микрокомпонентов. Это преимущественно инфильтрационные воды, химический состав которых формируется в основном за счет химического состава атмосферных осадков и выщелачивания пород и руд в зоне гипергенеза.

Вследствие слабой минерализации в этих водах обычно не содержатся промышленные компоненты в необходимых концентрациях. Исключение составляют лишь те из них, промышленная концентрация которых определяется десятками микрограммов в литре воды (например, германий).

2. Соленые подземные воды имеют преимущественно хлоридный натриевый состав со значительной примесью сульфатов натрия и кальция, а в отдельных районах и гидрокарбонатов натрия. В слабосоленых и среднесоленых водах отдельных районов сульфаты кальция и натрия имеют преобладающее значение, особенно в районах, в геологическом строении которых принимают участие гипсы и ангидриты.

Химический состав сильносоленых вод характеризуется преобладанием хлоридов натрия, часто со значительной примесью кальция, величина которой зависит от степени проточности и промытости соответствующих частей геологического разреза.

Соленые воды формируются в морях и океанах или в условиях интенсивного развития процессов континентального засоления, а в недрах земли — в различных частях геологического разреза при наличии слабопромытых пород. В последнем случае существенную роль в формировании солевого состава соленых вод имеют отложения водоемов повышенной солености и погребенные седиментогенные морские воды различной концентрации, особенно для формирования сильносоленых вод.

Во многих районах, сложенных породами, обогащенными органикой, соленые воды содержат промышленные концентрации йода и бора. В отдельных районах в них зарегистрированы промышленные концентрации рубидия и цезия.

3. Рассольные подземные воды (за исключением сверхкрепких рассолов, в которых часто преобладают хлориды кальция и магния) имеют преимущественно хлоридный натриевый состав. Однако второстепенные

**Принципиальная схема подразделения минеральных промышленных вод
и типы их месторождений
(формация минеральных промышленных вод)**

Под-форма-ция	Группа минеральных промышленных вод по степени минерализации, г/кг	Подгруппа минеральных промышленных вод	Степень минерализации подгрупп минеральных промышленных вод, г/кг	Характерные макрокомпоненты химического состава минеральных промышленных вод	Промышленно-ценные компоненты химического состава промышленных вод и их максимальная концентрация, зарегистрированная в СССР, г/кг	Основные типы месторождений	
Подземные минеральные промышленные воды	Пресные воды (до 1,0)	—	—	HCO ₃ , SO ₄ , Ca, Na	Ge 0,00002	Трещинно-жилвные и жилвные (холодные и термальные) воды гидротектологических массивов складчатых областей	
	Соленые воды (1—35)	Слабосоленые	1,0—3,0	SO ₄ , Cl, HCO ₃ , Ca, Na	Ge 0,00002		
		Средне-соленые	3,0—10,0	Cl, SO ₄ , Na	Rb 0,003 Cs 0,003 B ₂ O ₃ 1,5		
		Сильно-соленые	10,0—35,0	Cl, SO ₄ , Na	J 0,035 B ₂ O ₃ 0,400	Пластовые воды артезианских бассейнов: 1) платформ, 2) предгорных и межгорных прогибов	
	Рассольные воды (>35,0)	Весьма слабые рассолы	35,0—70,0	Cl, Na	J 0,070 Br 0,500		1. Пластовые воды зон весьма затрудненного водообмена артезианских бассейнов, в геологическом разрезе которых широко распространены галогенные формации 2. Пластовые и трещинно-жилвные воды артезианских бассейнов, сильно нарушенных тектоническими разломами
		Слабые рассолы	70,0—140,0	Cl, Na, Ca	B ₂ O ₃ 0,500 Li 0,060 Cr 0,400		
		Крепкие рассолы	140,0—270,0	Cl, Na, Ca	J 0,070 Br 1,5 B ₂ O ₃ 0,300 Sr 0,700 Li 0,200 Rb 0,060 Se 0,004		
		Весьма крепкие рассолы	270,0—350,0	Cl, Na, Ca, Mg	K 20,0 Br 7,0 Sr 2,0 Li 0,200 Rb 0,030 Cs 0,004 Pb 0,006 Zn 0,006 Cu 0,007		
	Сверх-крепкие рассолы	>350,0					
	Поверхностные минеральные промышленные воды	Рассольные воды (>140,0)	Крепкие и весьма крепкие рассолы	140—350,0	Cl, SO ₄ , HCO ₃ , Na, Mg, Ca, K	Li 0,300 Rb 0,003 Cs 0,02 Sr 2,500	1. Рассольные воды озер и лагун 2. Межсолевая и подсолевая рапа озер 3. Рапа погребенных горизонтов под дном самосадочных озер и лагун

компоненты солевого состава в разных подгруппах рассольных вод содержатся в разном количестве.

В подгруппах весьма слабых и слабых рассолов часто заметную роль играют сульфаты, и тем большую (как правило), чем меньше минерализация. В крепких рассолах содержание сульфатов в большинстве случаев резко уменьшается, а кальция, магния, брома и калия увеличивается. В весьма крепких рассолах содержание хлоридов кальция и магния составляет десятки процентов от солевого состава; увеличивается также содержание калия, брома, стронция, лития, иногда бора, рубидия, цезия. В сверхкрепких рассолах хлориды кальция и магния часто преобладают над хлоридами натрия; среди катионов второе место иногда занимает калий, а среди анионов — бром.

Таким образом, при очень высокой крепости химический состав рассолов бром-хлоридный калиево-кальциевый или калиево-магниевый, иногда с высоким содержанием лития, стронция и других компонентов.

Весьма крепкие и крепкие рассолы многих районов можно рассматривать как возможный источник получения не только брома, калия, стронция, лития, рубидия, цезия, но и таких солей, как хлориды магния, кальция, натрия. В отдельных случаях в них зарегистрированы сравнительно высокие концентрации свинца, цинка, меди, мышьяка. Формирование рассолов в недрах земли тесно связано с галогенными формациями. В одних случаях это рассолы выщелачивания соленосных пород, в других — в разной степени измененные седиментогенные рассольные воды, образовавшиеся в некогда существовавших солеродных бассейнах на разных стадиях галогенеза — доломитовой, гипсовой, галитовой, корналитовой (И. К. Зайцев, 1961), а затем погребенной вместе с отложениями названных бассейнов. Чем больше минерализация этих вод, тем разнообразнее содержащиеся в них промышленно-ценные компоненты и тем больше концентрация последних.

Наиболее важной особенностью подземных вод, в том числе и промышленных, в недрах гидрогеологических структур является изменение степени минерализации и химического состава их по мере увеличения глубины и степени изоляции водосодержащих пород от дневной поверхности. Характер этих изменений существенно неодинаков в разных гидрогеологических структурах:

1. Артезианские бассейны, в геологическом разрезе которых участвуют мощные толщи галогенных отложений. В верхней части вертикального гидрогеохимического разреза расположена зона пресных вод мощностью от нескольких десятков до нескольких сот метров, которая постепенно, по мере увеличения глубины, переходит в зону соленых вод мощностью до нескольких сот метров. Еще глубже последовательно появляются рассольные воды, от весьма слабых до весьма крепких и сверхкрепких. Последние характерны для соленосных толщ. Мощность зоны рассолов от нескольких сот метров до 3—4 км, а в некоторых бассейнах и больше. Это наиболее перспективные бассейны в отношении рассолов, обогащенных разнообразными промышленно-ценными компонентами. Примером бассейнов указанного типа могут служить Ангаро-Ленский, Днепровско-Донецкий, Северо-Каспийский, Амударьинский и др.

2. Артезианские бассейны, в которых соленосные отложения имеют ограниченное распространение в нижних частях разреза чехла. Под зоной пресных вод мощностью до нескольких сот метров расположены зоны соленых вод и весьма слабых рассолов общей мощностью до 2—3 км, ниже которых распространены преимущественно слабые и меньше — крепкие рассолы. В качестве примера можно назвать Азово-Кубанский, Терско-Кумский и другие бассейны. Они перспективны на сравнительно небольшое количество промышленно-ценных компонентов (главным образом йод и бор).

3. Артезианские бассейны, в разрезе чехла которых галогенные породы не известны, но широко распространены отложения морей нормальной или пониженной солености. В них глубже зоны пресных вод (мощностью от десятков метров до многих сотен метров) распространены соленые воды, образующие зону мощностью до нескольких километров. Слабые рассолы иногда появляются в наиболее глубоких прогибах, в фундаменте которых, вероятно, имеются соленосные отложения. Примером могут служить артезианские бассейны Западно-Сибирской артезианской области, Камчатки, о-ва Сахалина и др. Такие бассейны перспективны в отношении йодных вод; другие компоненты обычно не достигают промышленных концентраций.

4. Артезианские бассейны, в чехле которых участвуют только отложения пресноводных водоемов. Зона пресных и слабосоленых (до 2—3 г/кг) подземных вод в них прослеживается до фундамента и достигает мощности 1,5—2,5 км. Сильносоленые и рассольные воды не известны. Примером таких бассейнов могут служить межгорные и внутриворонные артезианские бассейны Восточного Забайкалья и Дальнего Востока. В их водах промышленные компоненты в необходимых концентрациях не зарегистрированы.

Гидрогеохимические разрезы гидрогеологических массивов складчатых областей изучены меньше артезианских бассейнов, но имеющиеся данные показывают, что и они существенно различны. Можно выделить массивы складчатых областей: а) допалеозойских, б) палеозойских, в) мезозойско-кайнозойских, г) молодого и современного вулканизма, д) любого возраста, но активизированных в позднем мезозое — кайнозое.

Наибольший интерес представляют трещинно-жильные воды, термальные и холодные, связанные с глубокими тектоническими трещинами областей молодого и современного вулканизма, а также областей, активизированных в мезозое — кайнозое.

Приведенные краткие сведения показывают, что перспективность в отношении подземных промышленных вод (типы месторождений, глубина распространения, комплекс промышленно-ценных компонентов химического состава и степень концентрации последних) различна не только у разных типов гидрогеологических структур, но одних и тех же гидрогеологических структур в разных частях разреза.

На территории СССР имеется несколько провинций промышленных вод: преимущественно йодных, преимущественно бромных, преимущественно борных, поликомпонентных. Провинции подразделяются на подпровинции по признаку наличия в подземных водах других промышленных элементов: подпровинции йод-бромных вод, бром-рубидиевых вод и др.

Большой интерес представляют также поверхностные промышленные воды, приуроченные к рассольным озерам, лагунам и другим засоленным водоемам, в которых встречаются промышленные концентрации таких солей, как хлориды и сульфаты натрия и магния, гидрокарбонаты натрия и др., а также таких химических элементов, как литий, рубидий, цезий, бор и др.

Следует отметить, что за рубежом литий, рубидий, цезий и другие элементы добываются преимущественно из озерной рапы.

В СССР поверхностные рассолы изучены еще недостаточно, особенно в отношении содержания лития, рубидия, цезия, бора. Особое внимание должна привлекать межсолевая и погребенная рапа сильно засоленных водоемов.

На территории СССР имеются огромные количества минеральных вод, которые содержат в промышленных концентрациях многие ценные химические элементы. Однако выявленные закономерности распространения этих вод нуждаются в уточнениях и детализации. Поэтому при гео-

логосъемочных и поисковых работах необходимо проводить тщательное изучение химического состава подземных вод, а именно:

1) на платформмах — соленых и рассольных вод восходящих источников и глубоких скважин на все возможно находящиеся в них промышленно-ценные компоненты;

2) в складчатых областях (и особенно в областях молодого и современного вулканизма) — вод восходящих источников как с повышенной минерализацией, так и пресных (в первую очередь на такие элементы, как бор, рубидий, цезий, германий);

3) в областях наличия соленых и рассольных водоемов — химического состава рапы и донных рассолов, погребенных под пластами солей (в первую очередь на такие элементы, как литий, бор, бром, рубидий, цезий, калий и др.).



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ	
Оценка эффективности геологосъемочных работ и основные задачи геологического картирования территории СССР. <i>В. К. Еремин</i>	5
Задачи прогнозных исследований на стадии крупномасштабного геологического картирования. <i>А. С. Кумпан</i>	7
Оценка степени оплошечности территории в свете задач прогнозирования месторождений полезных ископаемых. <i>А. И. Бурдэ</i>	11
Фациально-формационный анализ магматических и метаморфических пород при прогнозировании полезных ископаемых. <i>Е. К. Станкевич, В. В. Жданов, В. Н. Москалева, В. М. Немцович, Д. М. Орлов, Н. А. Румянцева, Б. Я. Хорева</i>	16
Использование результатов геоморфологических исследований при прогнозировании. <i>В. В. Соловьев</i>	20
Использование результатов геофизических исследований при прогнозировании. <i>Н. Н. Боровко, М. Г. Илаев, М. В. Семенов, Л. Е. Шолпо</i>	24
Использование результатов комплексных геохимических исследований территорий при прогнозировании. <i>Е. Е. Белякова, Н. Н. Васильева, Ф. Л. Думлер, Н. А. Цыкункова</i>	28
Палеогеогеологические исследования при прогнозировании. <i>Е. А. Басков</i>	33
Опыт глубинного геологического картирования районов двух- и трехъярусного строения. <i>П. А. Литвин, М. Б. Рыбаков, М. Л. Сахновский</i>	36
Опыт составления комплексных прогнозно-металлогенических карт среднего масштаба по материалам крупномасштабной геологической съемки. <i>В. Е. Попов, Е. В. Альперович, Л. С. Гельтман, Н. В. Кочкин, А. Н. Мельгунов, Г. П. Скублов, В. Н. Шкурский</i>	42
Опыт использования результатов объемного картирования гранитных массивов для прогнозной оценки редкометального оруденения. <i>А. А. Духовский, В. Ф. Николаев, Н. Г. Бузкова, М. И. Литвак, Н. К. Клоев</i>	46
Опыт комплексного использования петрофизических, геофизических и морфоструктурных данных для целей прогнозирования. <i>Э. Я. Дубинчик, В. К. Путинцев, В. В. Соловьев</i>	49
Прогнозирование месторождений полезных ископаемых при геологической съемке шельфовых зон морей. <i>М. А. Спиридонов</i>	55
КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВАЖНЕЙШИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ТЕРРИТОРИИ СССР	
Прогнозно-металлогенические исследования при геологосъемочных работах. <i>Д. В. Рундквист, В. И. Васильев, Л. Н. Дуденко, Э. И. Кутырев</i>	60
Черные металлы	
Месторождения железа. <i>В. Е. Попов, Ю. Г. Старицкий</i>	67
Месторождения хрома. <i>С. В. Москалева, Э. А. Морозова</i>	75
Цветные и редкие металлы	
Месторождения глиноземного сырья. <i>Б. М. Михайлов, В. А. Бронева, М. П. Орлова</i>	81

Месторождения меди. <i>И. Г. Павлова, Э. И. Кутырев, И. В. Ляхницкая, Е. В. Туганова</i>	87
Месторождения свинца и цинка. <i>Э. И. Кутырев, К. А. Марков, В. С. Кормилицын, А. К. Иогансон</i>	102
Месторождения олова. <i>В. Т. Матвеев</i>	108
Месторождения вольфрама. <i>В. К. Денисенко</i>	113
Месторождения сурьмы и ртути. <i>В. И. Бергер, Н. С. Мудрогина, В. Г. Кузьмин</i>	119

Неметаллические полезные ископаемые

Месторождения алмазов. <i>Н. Н. Сарсадских, М. И. Плотникова, Ю. Д. Смирнов, В. А. Благулькина</i>	132
Месторождения асбеста. <i>В. Р. Артемов, Р. В. Колбанцев</i>	139
Месторождения флогопита и вермикулита. <i>И. Я. Дядькина, И. А. Львова, М. П. Орлова</i>	145
Месторождения мусковита. <i>Ю. Е. Рыцк, А. С. Никаноров, В. А. Бабошин</i>	159
Месторождения флюорита. <i>А. А. Иванова, А. Т. Соловьев, Ю. И. Михайлова, М. М. Сомов, Ф. В. Старицын</i>	162
Месторождения фосфоритов. <i>В. Л. Либрович</i>	167
Месторождения калийных солей. <i>С. М. Корневский</i>	172
Месторождения серы. <i>Я. К. Писарчик, Г. А. Беленицкая, М. А. Минаева, Г. А. Русецкая</i>	179
Месторождения сероводородной серы. <i>Г. А. Беленицкая, М. С. Гуревич</i>	186

Горючие полезные ископаемые

Месторождения угля и горючих сланцев. <i>Г. Д. Петровский</i>	191
---	-----

Промышленные минеральные воды

Месторождения подземных минеральных вод. <i>И. К. Зайцев</i>	197
--	-----

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

(Краткие тезисы к семинару 22—24 мая 1973 г.)

Редакторы *Р. Г. Поликарпова, Т. М. Шиянова*

Технический редактор *Т. В. Минькова*

Корректор *Т. С. Гуляева*

М-35082. Подп. в печать 17/V 1973 г. Формат бумаги 70×108¹/₁₆. Уч.-изд. л. 17,18.
Печ. л. 12³/₄+3 вкл. Цена 1 р. 35 к. Тираж 800 экз. Заказ № 346.

Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология».

Цена 1 руб. 35 коп.

788