

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ
О РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
В СССР



Ф.И.ВОЛЬФОН

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ



Ф. И. ВОЛЬФСОН

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ
О РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
В СССР

5042

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1969



Вольфсон Ф. И. «Развитие учения о рудных месторождениях в СССР». Изд-во «Наука», 1969.

В работе излагаются успехи в развитии геологии рудных месторождений в СССР за годы существования Советского государства. Рассмотрены достижения в области теории рудообразования и практики геологоразведочных работ, которые отражают основные этапы развития теоретических представлений в области науки о рудных месторождениях, роль научных школ и отдельных исследователей в развитии научных воззрений.

Ответственный редактор
В. А. НЕВСКИЙ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Советские геологи достигли крупных успехов в области обеспечения нашей Родины различными видами минерального сырья. Советский Союз по запасам полезных ископаемых, используемых в настоящее время в народном хозяйстве, вышел на одно из первых мест в мире. В открытии, разведке и оценке всего этого огромного богатства минеральных ресурсов участвовали геологипроизводственники и сотрудники научных учреждений, работавшие в тесном содружестве.

Огромный фактический материал, который накапливался в процессе проведения геологоразведочных и научно-исследовательских работ, служил основой для важных обобщений и непрерывного совершенствования наших теоретических представлений в области учения о рудных месторождениях. В предлагаемой работе сделана попытка показать в развитии главнейшие теоретические достижения, которые нашли отражение в печати начиная с ранних периодов становления советской власти и до настоящего времени. Однако, используя в предлагаемом историческом анализе лишь главнейшие из опубликованных книг и статей советских геологов в области науки о рудных месторождениях по состоянию на 1968 г.¹, автор ясно представляет, что поставленная задача решена им далеко не полностью. Дело в том, что не все даже крупные теоретические обобщения оказались опубликованными. Много ценных научных материалов по условиям образования рудных и неметаллических месторождений содержится в многочисленных геологических отчетах, находящихся в фондах территориальных геологических управлений, геологоразведочных бюро рудников и в многочисленных научно-исследовательских институтах и вузах. Эти материалы практически не нашли отражения в предлагаемой работе, таким образом, авторы многих очень важных исследований оказались не упомянутыми. Автор также не мог в небольшой книге использовать и процитировать все опубликованные материалы по различ-

¹ Работы, опубликованные в 1968 г., автор имел возможность использовать лишь частично.

ным вопросам учения о рудных месторождениях, так как количество этих работ, особенно в последние годы, достигло очень больших размеров¹.

Предлагаемая работа в сущности представляет собой лишь первый шаг в обобщении данных по развитию учения о рудных месторождениях в СССР. Однако автор надеется, что изложенные в ней материалы помогут широким кругам геологов представить себе сложный путь развития основных теоретических представлений, который прошла наука о рудных месторождениях в нашей стране, достигнув современных высот. В дальнейшем автор думает вместе с другими геологами, активными участниками создания минерально-сырьевой базы СССР и разработки теоретических основ учения о рудных месторождениях, продолжить и углубить анализ достижений в учении о рудных месторождениях нашей страны. Соответственно автор будет благодарен всем читателям книги за их замечания и пожелания, которые он просит направлять по адресу: Москва, Старомонетный пер. 35, ИГЕМ АН СССР. Автор надеется также, что отдельные из рассматриваемых в книге вопросов могут послужить основой для дискуссии в печати, что поможет глубже и всестороннее вскрыть основные особенности развития науки о рудных месторождениях в нашей стране.

В процессе работы над книгой обсуждались отдельные вопросы с акад. Д. И. Щербаковым, докторами геолого-минералогических наук В. М. Крейтером, Г. А. Соколовым, В. И. Казанским, а также с кандидатами наук Л. И. Лукиным, А. В. Дружининым и Е. П. Сонюшкиным, которым автор выражает свою глубокую признательность. Автор также благодарен докторам геолого-минералогических наук В. Н. Котляру и В. А. Невскому, сделавшим много ценных замечаний. Автор искренне признателен В. И. Хоханову, который оказал существенную помощь в подборе материалов.

¹ По рудным месторождениям в последние годы в СССР публикуется ежемесячно около 300 работ.

ВВЕДЕНИЕ

В создании учения о рудных месторождениях русские ученые сыграли исключительно важную роль. Начиная с трудов М. В. Ломоносова в деятельности геологов нашей страны отмечается стремление к детальному изучению геологии месторождений полезных ископаемых. Уже с тех пор отечественные геологи стремились строить свои выводы на точно установленных фактах. М. В. Ломоносов был одним из первых, кто стремился поставить геологическую науку на базу фактов так, чтобы она служила на пользу дела и «в опровержение мечтательным догадкам». Эту же линию проводили в своих исследованиях В. М. Севергин, который указывал, что без точных наблюдений и исследований не может быть науки, и создатель учения о россыпных месторождениях Д. И. Соколов и другие крупнейшие русские ученые.

Отечественные геологи внесли большой вклад в разработку новых методов исследования рудных месторождений и в выяснение условий образования главнейших типов месторождений. В этом отношении особо велика заслуга А. П. Карпинского, применившего впервые метод составления палеогеографических карт для выявления условий образования руд осадочного происхождения и впервые высказавшего мнение о позднемагматическом происхождении хромитовых месторождений. В деле разработки новых методов и новых подходов к изучению геологии рудных месторождений велика была также роль Е. С. Федорова, В. И. Вернадского, В. А. Обручева, Н. К. Высоцкого, К. И. Богдановича, А. Н. Заварицкого и других отечественных исследователей. Русские ученые всегда стремились развивать учение о рудных месторождениях на базе использования достижений точных наук, и эта особенность характерна для всех главнейших трудов по рудным месторождениям, изданных отечественными учеными в дореволюционное время.

Успехи русских геологов по созданию учения о рудных месторождениях были исключительно велики и оказали благоприятное влияние на последующие работы советских геологов. Однако существовавший в то время политический и экономический

строй ограничивал возможность плодотворного развития науки. Ученые работали в одиночку и могли производить исследования только небольшого количества месторождений. Рудные богатства России не были обследованы и изучены. Академик В. И. Вернадский в 1914 г. учел химические элементы, которые использовались промышленностью царской России. Оказалось, что выявленные запасы страны касались только 14 элементов, причем сколько-нибудь достаточные запасы имелись только в отношении 4 элементов и небольшие запасы в отношении 6 элементов.

Русская промышленность работала в основном на чужеземных орудиях производства и на чужеземном сырье. В то время Россия ввозила из-за границы не только цветные и редкие металлы, но даже широко распространенные на территории России каменные и керамические материалы. А. Е. Ферсман (1940) отмечал, например, что мостовая около Большого театра в Москве была замощена кубиками гранита, полученного через Ригу из Швеции.

Освоение природных богатств в полной мере началось в нашей стране лишь после Великой Октябрьской революции. Под руководством Коммунистической партии началась огромная творческая работа трудящихся нашей Родины, протекавшая в первые годы в невероятной тяжелой обстановке, вызванной иностранной блокадой, гражданской войной и хозяйственной разрухой.

В. И. Ленин отмечал, что Российская Советская республика обладает огромными ресурсами каменного угля, нефти, торфа, лесных богатств, водных сил, сырья для химической промышленности. Однако все эти природные богатства в должной мере не были изучены и освоены промышленностью.

Выяснением условий образования металлических и неметаллических месторождений и установлением закономерностей их пространственного размещения занимается отрасль геологических знаний, именуемая учением о рудных месторождениях. В царской России это учение находилось на низком уровне, так как оно прежде всего не имело необходимой производственной базы для своего развития. Великая Октябрьская социалистическая революция привела к небывалому расцвету всех наук в нашей стране и в том числе учения о рудных месторождениях. Начиная с первых послереволюционных лет и во все последующее время наука о рудных месторождениях развивалась и совершенствовалась в тесной связи с общим огромным развитием народного хозяйства и созданием социалистической горнорудной промышленности. К настоящему времени наука о рудных месторождениях достигла значительных высот.

В истории развития учения о рудных месторождениях в Советском Союзе намечается пять периодов. Первый из них, охватывающий промежуток времени от Октябрьской революции до

первой пятилетки (1917—1928 гг.), соответствует времени восстановления народного хозяйства и характеризует начало систематического планового изучения недр нашей страны. Второй период (1929—1940 гг.) совпадает с предвоенными пятилетками, когда широко развернулись геологоразведочные работы, в результате которых была создана мощная минерально-сырьевая база индустрии. Третий период (1941—1945 гг.) совпадает с Великой Отечественной войной, когда все геологические работы были направлены главным образом на обеспечение военной промышленности важнейшими видами стратегического минерального сырья. Четвертый период (1946—1953 гг.) относится к послевоенным годам перестройки социалистического народного хозяйства на мирный лад и началу нового огромного подъема. Наконец, пятый период начиная с 1954 г. отвечает эпохе создания материально-технической базы коммунизма и развернутого строительства коммунистического общества. Этот период отличается небывалым размахом геологических исследований в нашей стране.

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД

1917—1928 гг.

Молодая Советская республика с самого начала своего существования направила научные геологические силы на изучение минеральных ресурсов и открытие новых запасов минерального сырья для нужд развития народного хозяйства.

В декабре 1917 г. декретом СНК РСФСР, подписанным В. И. Лениным, в составе ВСНХ были образованы Главки — Главруда и Сектор разведки и учета полезных ископаемых (реорганизованный в 1922 г. в Центральное управление промышленных разведок — ЦУПР), которым было поручено восстановление рудников, сбор и обработка материалов по рудничной геологии и проведение геологоразведочных работ на известных месторождениях. В развертывании геологических исследований исключительно важную роль сыграли указания В. И. Ленина, развитые им в работах «Очередные задачи советской власти» и «Набросок плана научно-технических работ», который был направлен в Академию наук в 1918 г. В. И. Ленин определил сырьевую проблему как одну из основных проблем, разрешение которых необходимо для укрепления социалистического строя. В. И. Ленин обратился в Академию наук, где началось систематическое изучение и обследование естественных богатств России, с предложением организовать ряд комиссий из специалистов для возможно более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России. «Подъем производительности труда, — указывал он, — требует, прежде всего, обеспечения материальной основы крупной индустрии...» Он писал, что разработка этих естественных богатств «...дает основу невиданного прогресса производительных сил»¹.

По мнению В. И. Ленина, в этом плане должно было найти отражение рациональное размещение промышленности вблизи источников сырья, а также самостоятельное снабжение сырьем Российской Советской республики (без Украины и областей, занятых немецкими оккупантами) для широкого развития промышленности.

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 36. Изд. 5-е. М., Госполитиздат, 1962, стр. 188.

Важно отметить, что в подстрочных примечаниях к «Наброску плана научно-технических работ» В. И. Ленин указал на необходимость срочного «изо всех сил» издания материалов Комиссии естественных производительных сил.

В дальнейшем эффективном развитии научных исследований и геологоразведочных работ в нашей стране исключительно благотворно сказались не только прямые указания и мероприятия, проведенные по предложению В. И. Ленина, но и его теоретические работы в области диалектического материализма и творческого применения категорий диалектической логики. В. И. Ленин показал, что для научного познания явлений природы необходимо установить их наиболее существенные стороны, проникнуть в сущность, скрытую внешней видимостью, выявить внутренние, причинные связи, закономерности явлений. Необходимо при этом проанализировать движение этой сущности при переходе от одного состояния к другому и выявить закон их изменения. Исследования должны быть всесторонними, а явления рассмотрены в их взаимосвязи и взаимообусловленности. По В. И. Ленину — «Развертывание всей совокупности моментов действительности $NB = \text{сущность диалектического познания}$ »¹.

Ранее уже отмечалось, что русские геологи стремились поставить геологическую науку на базу фактов. В этой связи особое значение имеет указание В. И. Ленина, как собирать факты и насколько они являются основой научных выводов. Он говорил, что факты, если взять их в их целом, не только «упрямая», но и безусловно доказательная вещь. Фактики, если они отрывочные и произвольные, являются именно только игрушкой или кое-чем еще похуже.

Воодушевленные революционными идеями и овладевшие марксистско-ленинским подходом к решению сложных геологических проблем советские геологи провели исключительно плодотворную работу в рассматриваемый период и в течение всего последующего времени.

Практическое осуществление указаний В. И. Ленина выразилось в составлении развернутой программы научных исследований Академии наук и других учреждений, в организации специальных комитетов, отделов и комиссий по вопросам развития естественных производительных сил. Впоследствии многие из этих учреждений выросли в самостоятельные научно-исследовательские институты. Среди созданных комиссий прежде всего необходимо отметить: Особую комиссию по исследованию Курской магнитной аномалии (ОККМА), которую возглавил академик И. М. Губкин, и Комиссию по изучению химического сырья залива Кара-Богаз-Гол, созданную под руководством академика Н. С. Курнакова.

¹ В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т 29, стр 141.

Весной 1919 г. Геологический комитет был включен в систему ВСНХ. Тогда же В. И. Ленин подписал постановление Совета Народных комиссаров об ассигновании 2,5 млн. рублей на проведение геологических исследований в стране. Штаты сотрудников Геологического комитета были увеличены до 77 человек против 50 человек в 1912 г. Представители Геолкома были введены в состав Угольного, Соляного и многих других комитетов ВСНХ.

Первый Всероссийский геологический съезд в 1922 г. признал целесообразным объединить промышленные разведки ЦУПР с геологосъемочными работами и научно-исследовательской деятельностью Геолкома. В соответствии с этим Совет Народных комиссаров в ноябре 1922 г. вынес постановление о передаче ЦУПР Геолкому. Для оперативного руководства геологической службой были организованы Уральское, Северо-Кавказское, Закавказское и Туркестанское бюро Геологического комитета.

Эти организационные мероприятия благотворно сказались на развитии геологоразведочных работ и научных исследований. Еще при жизни В. И. Ленина советские геологи открыли громадный железорудный бассейн КМА, выявили значительные запасы химического сырья в Кара-Богаз-Голе, а в последующие несколько лет установили колоссальные запасы апатитов, открыли медно-никелевые руды Норильска, золоторудные месторождения Сибири, свинцово-цинковые месторождения Средней Азии и Казахстана и др.

Изучение и разведка Курской магнитной аномалии, начатая по инициативе В. И. Ленина в 1918 г., проводилась в тяжелых условиях гражданской войны. В. И. Ленин оказал существенную помощь в проведении геологоразведочных работ, настояв перед Наркомфином о необходимости выделения средств (200 000 золотых рублей) для покупки бурового оборудования за границей. Первые же буровые скважины вскрыли на глубине железные руды. Полученные данные дали возможность В. И. Ленину заключить, что в Курской магнитной аномалии несомненно сконцентрировано невиданное в мире богатство, которое способно перевернуть все дело металлургии. Как известно, этот прогноз в дальнейшем полностью оправдался, и в настоящее время перспективные запасы одних лишь богатых железных руд КМА превышают 40 млрд. т.

В геологических исследованиях и геологоразведочных работах в первые годы советской власти активное участие приняли ведущие геологи нашей страны: В. А. Обручев, Н. К. Высоцкий, А. Е. Ферсман, А. Н. Заварицкий, В. К. Котульский, А. К. Болдырев, И. Ф. Григорьев, Д. И. Щербаков, А. Д. Архангельский, М. А. Усов, С. С. Смирнов, А. Г. Бетехтин, М. П. Русаков, Н. Г. Кассин, В. Н. Зверев, Д. В. Никитин, Н. И. Свистальский, В. П. Нехорошев, И. С. Яговкин, Б. Н. Наследов, М. М. Тетяев,

В. М. Крейтер, Д. В. Наливкин, П. М. Татаринов, В. Г. Грушевой, И. И. Чупилин, Г. Л. Падалка и др. Они проводили геологическое картирование рудоносных площадей, а также маршрутные геологические съемки и поиски в сочетании с детальным изучением известных месторождений. Эти исследования создали основу для дальнейшего широкого развертывания геологоразведочных работ, обеспечивших сырьевую базу для развития отечественной промышленности черных, цветных, благородных металлов и неметаллических ископаемых. Не имея возможности остановиться на всех главнейших исследованиях и экспедиционных работах того времени, отметим лишь некоторые из них.

В первые годы советской власти исключительно важными оказались исследования академика А. Е. Ферсмана, возглавившего работы крупной экспедиции Академии наук на Кольском полуострове по изучению его минеральных богатств. Как известно, впоследствии эти исследования привели к созданию крупного промышленного центра — Кировска — по добыче апатитов, а также созданию ряда других центров по добыче важных для народного хозяйства полезных ископаемых.

Под руководством другого крупнейшего ученого — А. Н. Заварицкого проводились обширные исследования рудоносных районов Урала. С 1922 г. в связи с широким развитием поисково-разведочных работ началось систематическое изучение платиноносной провинции, приведшее к весьма важным теоретическим и практическим результатам. В 1925 г. А. Н. Заварицкий возглавил экспедицию Геологического комитета на Полярный Урал с целью решения общей проблемы платиноносности перидотитовых массивов. С 1924 г. с группой учеников А. Н. Заварицкий проводит большие работы по исследованию Бакальских железорудных месторождений на Южном Урале, изучает крупнейшее в Советском Союзе Саткинское месторождение магнезита, Комарово-Зигазинские месторождения бурых железняков, продолжает начатые в 1916 г. систематические исследования медных месторождений Урала, минеральных копей Ильменского заповедника; крупные исследования проводит на горе Магнитной.

В 1925 г. благодаря успешным исследованиям старшего геолога Геологического комитета П. И. Преображенского около г. Соликамска было открыто крупнейшее в мире месторождение калийных и магниевых солей. С расширением поисков в этом районе было установлено первое в Западном Приуралье месторождение нефти.

В 1927 г. С. С. Смирнов и В. М. Крейтер начали систематическое изучение и организовали геологоразведочные работы на свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья.

В том же 1927 г. старший геолог Геологического комитета Б. Н. Наследов с участием А. В. Королева, И. И. Князева, а затем Н. А. Брызгалова и И. В. Дюгаева организовали исследо-

вания рудных месторождений Средней Азии и Южного Казахстана — Карамазара и Каратау, в результате чего были выявлены свинцово-цинковые месторождения Кансай, Ачисай и др., послужившие в дальнейшем сырьевой базой для Чимкентского свинцового завода. Сотрудники Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР, впоследствии получившей название Среднеазиатской, во главе с Д. И. Щербаковым открыли целую серию сурьмяно-ртутных месторождений в Южной Фергане.

Крупные исследования были проведены М. А. Усовым и его учениками на колчеданных и золоторудных месторождениях Западной Сибири.

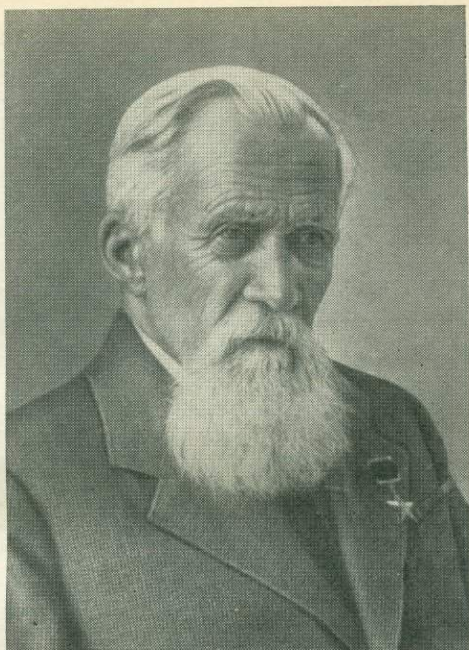
Геологические исследования М. П. Русакова и Н. Г. Кассина в Центральном Казахстане способствовали открытию Коунрадского, а затем и Бошекульского месторождения порфириновых медных руд.

В начале рассматриваемого периода в Восточной Сибири были открыты новые крупные районы распространения богатых золотоносных россыпей.

К бесспорным достижениям советских геологов принадлежит и открытие в различных рудных районах ряда других месторождений цветных, благородных, редких металлов и неметаллических полезных ископаемых. Все эти открытия показали, насколько слабо в царское время были изучены недра нашей страны и какие возможности открываются перед молодой Советской республикой в отношении создания минерально-сырьевой базы для развития социалистической промышленности.

В итоге на основе геологоразведочных работ за рассматриваемый период были получены важные теоретические сведения в области учения о рудных и нерудных месторождениях. В них были заложены основы многих идей, получивших блестящее развитие в последующие годы. Советские геологи, анализируя теоретические вопросы в области рудообразования, учитывали данные передовых геологов зарубежных стран и прежде всего Фогта, Ниггли, Линдгрена, Эммонса, Пошепни, Грейтона и др. Для этой цели под редакцией В. К. Котульского были опубликованы специальные переводы. Важное значение в теоретических обобщениях сыграли также материалы дореволюционных исследований русских геологов, которые были опубликованы по инициативе В. И. Ленина в трудах Комиссии по изучению естественных производительных сил и Геологического комитета.

За этот короткий период, кроме того, был опубликован ряд монографий и статей выдающихся советских ученых — В. А. Обручева, А. Н. Заварицкого, А. Е. Ферсмана, А. Д. Архангельского, М. А. Усова, И. Ф. Григорьева, А. К. Болдырева, В. К. Котульского, Б. Н. Наследова, И. С. Яговкина, Н. И. Свитальского и многих других.



Академик
Владимир Афанасьевич Обручев
(1863—1956)

В трудах В. А. Обручева (1923, 1924, 1927, 1928₂) нашли отражение его исключительно плодотворные исследования золотоносных россыпей и коренных месторождений золота в Сибири. В 1923 г. он опубликовал работу по геологии Олекминско-Витимского золоторудного района — третью часть ранее начатого «Геологического обзора золоторудных районов Сибири». Особое внимание он уделил закономерностям нахождения источников золотоносных россыпей, что имеет важное значение при поисках коренных месторождений. В. А. Обручев обратил внимание геологов на многостадийность формирования золотоносных рудных жил, установив при этом ряд закономерностей концентрации оруденения в связи с особенностями поведения трещин, ролью вмещающих пород и, в частности, наличием в них органического вещества.

Большое значение в развитии геологоразведочных работ в Сибири имела монография В. А. Обручева «Металлогенические эпохи и области Сибири» (1926). Кроме того, В. А. Обручев разрабатывал общую классификацию рудных месторождений (1922,

1924), которая была опубликована студенческой организацией Московской горной академии. Вскоре выходит полный курс «Рудные месторождения» (Обручев, 1928, 1929).

Из теоретических исследований в области гидротермальных месторождений особое значение имела работа В. К. Котульского «О глубине жильных месторождений» (1922). В этой работе В. К. Котульский большое внимание уделил внутреннему строению разрывных нарушений и показал, что условия локализации оруденения находятся в зависимости от типов рудоносных трещин. В. К. Котульский подчеркивал, что источником гидротермального оруденения являются эруптивные породы, появляющиеся на различных глубинах. По его мнению, в зависимости от нее будет находиться и глубина месторождения, ими обусловленная. Анализируя данные по жильным месторождениям, В. К. Котульский пришел к выводу, что формирование их вызвано проявлением следующих фаз, расположенных в порядке убывания температуры: 1) галоидная, 2) сернокислая, 3) сернистоводородная, 4) углекислощелочная и 5) углекисловодная.

В рудах гидротермальных месторождений все эти фазы бывают представлены наименее растворимыми минералами.

Осаждение сульфидов и сульфосолей может происходить или под действием уменьшения давления и температуры при приближении раствора к поверхности, или при встрече с другими растворами, или при химических реакциях с боковой породой.

Далее автор пытается объяснить ход процесса рудоотложения. В горячем растворе, содержащем CO_2 и H_2S при повышенном давлении, должно существовать подвижное равновесие между обеими частями уравнения: $\text{CO}_2 + \text{Me}_2'\text{S} + \text{M}''\text{S} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + \text{Me}_2'\text{CO}_3 + \text{M}''\text{CO}_3$.

На количество растворенных сульфидов металлов большое влияние оказывает давление, под действием которого растворимость сульфидов увеличивается. Удаление H_2S при уменьшении давления и температуры или же при реакциях с окружающими породами вызывает выпадение сульфидов тяжелых металлов, которые не растворяются в растворе сульфидов щелочей и щелочных земель. Наиболее обильное осаждение будет происходить в первые моменты охлаждения. Поднимаясь ближе к поверхности, раствор будет давать все менее обильный осадок.

Чем быстрее происходит падение температуры, тем скорее происходит выпадение из него соединений. Вследствие этого месторождения, образующиеся ближе к поверхности, будут отличаться сложным полиметаллическим характером. Для месторождений, имеющих корни на большой глубине, отложение будет происходить на большом протяжении, произойдет дифференцировка, вследствие чего мы получим как бы смену монометаллических месторождений вдоль одной трещины. Отсюда ясная связь полиметаллических месторождений с порфирами,

а монометаллических, скорее, с зернистыми породами. Зональность в вертикальном направлении есть следствие изменения температуры и давления.

Говоря о значении возраста для глубины формирования месторождений, автор останавливается на вопросе о металлогенических эпохах и металлогенических провинциях.

Геология знает не менее четырех таких эпох: 1) гуронская, 2) каледонская, 3) герцинская, 4) альпийская. Образование месторождений в каждую из этих эпох занимает небольшой промежуток времени на закате тектонической деятельности.

В. К. Котульский в заключении рассматривает в качестве оценочного фактора эрозионный срез. Он отметил, что эрозия может играть как положительную роль, когда она вскрывает верхи месторождения, так и отрицательную, когда она почти полностью уничтожает месторождение. Краткое изложение соображений В. К. Котульского, высказанных им в цитируемой статье об условиях формирования гидротермальных месторождений 47 лет назад, показывает, что по ряду анализируемых вопросов его суждения перекликаются с современными представлениями по вопросам генезиса этих месторождений.

В. К. Котульский (1926, 1928) сделал ценные обобщения по геологии ряда полиметаллических месторождений Алтая и золоторудных месторождений Центрального Казахстана.

В 1922—1927 гг. опубликован трехтомный труд А. Н. Заварицкого «Гора Магнитная и ее месторождения железных руд», положенный в основу проектирования крупнейшего в стране магнитогорского рудника и металлургического комбината. В этой работе он обосновал вопреки мнению И. А. Морозевича новое представление о контактово-метасоматическом происхождении железных руд горы Магнитной. А. Н. Заварицкий впервые доказал на основании выяснения возрастных соотношений даек лампрофиринов и оруденения, что скарны и связанные с ними магнетитовые руды формируются не в процессе внедрения гранитоидов, как это вытекало из представлений М. Гольдшмидта и других исследователей, а в послемагматический этап, после внедрения диасхистовых даек. А. Н. Заварицкий впервые показал, что при образовании окарнов алюминий и некоторые другие компоненты заимствуются из вмещающих пород, в то время как железо и другие связанные с ним компоненты поступают из глубин, отделяясь от остывающих гранитных массивов. Высказанные им теоретические соображения послужили основанием для дальнейших важных исследований.

В другой монографии А. Н. Заварицкого (1927—1929) подведены результаты многолетнего изучения всех известных к тому времени различных по генезису медных месторождений Урала. Им также была написана сводка по золотым месторождениям Урала. Произведенные А. Н. Заварицким обобщения позволили



5042

выяснить многие особенности металлогении Урала и оказали существенную помощь при проведении дальнейших разведочных работ.

С теоретической точки зрения чрезвычайно большой интерес вызвала статья А. Н. Заварицкого (1926), посвященная классификации магматических рудных месторождений. В этой статье он критически пересмотрел существовавшие до того гипотезы происхождения магматических руд и впервые дал физико-химически обоснованную классификацию собственно магматических месторождений. Эта классификация вошла во все курсы учения о рудных месторождениях и оказала большое влияние на направление дальнейших исследований в этой области.

Важные данные в области исследования пегматитовых месторождений были опубликованы А. Е. Ферсманом (1926). Им были обобщены результаты оригинальных минералого-геохимических исследований пегматитов, которые позволили ему наметить несколько фаз пегматитового процесса, а также типичные ассоциации минералов каждой из них. В этой работе А. Е. Ферсмана кратко изложены основные идеи его дальнейших блестящих теоретических исследований.

А. Е. Ферсман (1926) также написал интересную работу, в которой он выделил Монголо-Охотский рудный пояс.

Очень ценные сведения, подводящие итоги многолетних исследований фосфоритов, залегающих в различных геологических условиях, были опубликованы А. Д. Архангельским (1927). Он обобщил данные по мезозойско-кайнозойским залежам желваковых фосфоритов на территории европейской части нашей страны и Северо-Западного Казахстана. Было показано наличие крупных запасов фосфоритовых руд, изложены новые данные по результатам исследования минералогии и петрографии фосфоритов и впервые рассмотрены геологические условия формирования месторождений фосфоритов.

И. Ф. Григорьеву (1927) принадлежит приоритет в опубликовании новых данных о структурах и текстурах руд, в создании оригинальной классификации по структурам руд и детальном минераграфическом описании руд алтайских месторождений. Совместно с А. К. Болдыревым, И. Ф. Григорьевым (1927) была составлена карта рудного Алтая, которая представляет собой первую попытку составления своеобразной металлогенической карты, включающей элементы оценки отдельных месторождений Алтая на базе учета относительной ценности каждого металла, входящего в состав полиметаллических руд. Крупный исследователь западной части Центрального Казахстана И. С. Яговкин (1923, 1924) впервые высказал соображение о гидротермальном происхождении известного Жезказганского месторождения медистых песчаников и подробно охарактеризовал геологию Спаско-Успенского района. И. С. Яговкин наряду с этим дал первое



Академик
Александр Евгеньевич Ферсман
(1883—1945)

описание месторождений медистых песчаников Сибири, предопределив возможность открытия промышленных медных месторождений в восточных районах СССР.

Первое представление о геологии своеобразных свинцово-цинковых и других месторождений Карамазара было получено благодаря работам Б. Н. Наследова и А. В. Королева.

В. Г. Грушевой детально изучил геологию известного Алавердского медного месторождения в Армении, позднее¹ издал свои исследования в виде отдельной монографии, доказав гидротермальное происхождение изученного им месторождения.

Н. И. Свитальский (1924) опубликовал результаты своих исследований по выяснению генезиса железорудных месторождений Кривого Рога.

В рассматриваемый период закладывались основы нового металлогенического направления в учении о рудных месторождениях. В этом отношении особое значение имели исследования

¹ См. литературу второго периода.

Д. И. Щербакова, который впервые в 1927 г. наметил Южно-Ферганский сурьмяно-ртутный пояс, проходящий вдоль предгорья Алайского хребта примерно параллельно простиранию складчатости и определяемый серией разрывных нарушений. Д. И. Щербаков (1928) опубликовал крайне важные данные и об условиях локализации сурьмяно-ртутных руд, тяготеющих к тектоническим контактам сланцев (либо песчаников) и известняков, обычно залегающих в лежащем боку рудных тел.

Впервые в нашей стране развернулись специальные исследования в области методики разведки и подсчета запасов. В этом отношении особый интерес представила разработанная под руководством В. К. Котульского и А. К. Гедовиуса классификация запасов полезных ископаемых.

Немалые заслуги в деле проведения геологических исследований и изучения рудных месторождений принадлежат и многочисленным молодым геологам, работавшим под руководством опытных специалистов и ученых. Следует отметить, что в годы Советской власти, в отличие от прошлого, научно-исследовательские работы начали проводиться не в одиночку, а группами научных работников и даже целыми коллективами во главе с выдающимися учеными. Только при этом условии можно было в относительно короткие сроки решать широкие научные проблемы. В полевых исследованиях с энтузиазмом принимала участие студенческая молодежь старших курсов высших учебных заведений.

Ниже будет кратко рассмотрено состояние науки о рудных месторождениях в характеризуемый период по всем главнейшим генетическим типам месторождений: магматическим, контактово-метасоматическим, гидротермальным, экзогенным и метаморфогенным.

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Среди магматических месторождений наиболее детально исследовались месторождения платины, что явилось продолжением дореволюционных работ Н. К. Высоцкого и других геологов. В характеризуемый период в трудах Комиссии естественных производительных сил АН СССР были опубликованы работы Н. К. Высоцкого (1923—1925) по платиновым месторождениям Урала, суммирующие его дореволюционные исследования.

Среди платиновых месторождений, связанных с дунитами, Н. К. Высоцкий различал два типа коренных месторождений. Один из них представлен рассеянной платиной в дунитах, частью пироксенитах, габбро, перидотитах и пикритах, а другой — скоплениями в дунитах хромита, обогащенного платиной. Н. К. Высоцкий указал также на наличие переходного типа месторождений, в котором платина ассоциирует с вкрапленными

хромитовыми рудами. Рассматривая генезис всех этих месторождений, он высказал соображение о раннемагматическом их происхождении, в отличие от месторождений платины, в которых она связана с сульфидами, являющимися позднемагматическими. Н. К. Высоцкому принадлежит заслуга в правильной оценке перспектив платиноносности сульфидов железа и меди, установленных Н. Н. Урванцевым в связи с трапповым магматизмом Севера Сибири. Это привело в дальнейшем к выявлению промышленных медно-никелевых платиноносных месторождений Норильского района, в разведку и изучение которых большой вклад внесли И. Ф. Григорьев и Е. Г. Багратуни.

Соображение Н. К. Высоцкого о раннемагматическом происхождении платины, связанной с дунитами, не подтвердилось дальнейшими исследованиями, в частности, их оспаривал А. П. Карпинский (1926), по представлениям которого эти месторождения можно отождествлять с минеральными образованиями, тяготеющими к трубкам взрыва. А. П. Карпинский предполагал, что первоначально происходит концентрация и затвердевание хромистых железняков на глубине в магматическом очаге. Вынос хромита в более верхние горизонты происходил, по его мнению, в виде обломков при последующих взрывных процессах. Жилообразные, столбообразные и другие формы хромитовых рудных тел объяснялись А. П. Карпинским как результат постинтрузивного «механического внедрения продуктов более глубокой зоны... в твердом состоянии в сопровождении пневматолита и гидротермального процесса в период энергичного выделения летучих компонентов». А. П. Карпинский подтверждал свою гипотезу интересными наблюдениями строения хромитовых руд. Он, в частности, обратил внимание на катакластические текстуры и на развитие так называемых нодулярных руд, которые по его данным напоминают гальки. Характеризуемая гипотеза А. П. Карпинского не подтвердилась дальнейшими исследованиями. Однако она сыграла важную роль в развитии представления о позднемагматическом образовании хромитов. К выводу об образовании месторождений платины, связанной с хромитами в позднемагматический этап, пришел и А. Н. Заварицкий (1928).

Суммируя свои многолетние исследования, А. Н. Заварицкий однозначно показал, что платина не принадлежит к ранним образованиям, кристаллизующимся до кристаллизации ортосиликатов. Он пришел к выводу, что выделение платины в ультраосновных породах было вызвано распадом определенных соединений платины, в виде которых она находилась в магматическом расплаве. Парагенезис платины и хромистого железняка дает возможность предполагать, что в эти соединения входили также Сг, Fe и, вероятно, другие элементы. «Выделение металлической платины явилось результатом распада таких соединений». Эти представления позднее были полностью увязаны с богатым

фактическим материалом, который был собран и детально изучен в последующие годы, и они оказали большое положительное влияние на поиски и разведку различных платиновых и хромитовых месторождений на Урале и в других районах.

В результате изучения платиновых, а также и других месторождений магматического происхождения А. Н. Заварицкий пересмотрел классификацию всей группы магматических месторождений (1926). Его новая классификация была построена с учетом возможных физико-химических процессов, протекавших в основных и ультраосновных магмах в период их кристаллизации. В общей сложности А. Н. Заварицкий выделил четыре типа собственно магматических месторождений:

1. Аккумулятивные — характеризующиеся кристаллизацией рудных минералов первыми по отношению к силикатам.

2. Фузивные — в которых рудные минералы кристаллизовались из остаточных расплавов материнской породы, после породообразующих силикатов.

3. Ликвационные — формирующиеся из рудных расплавов, отщепившихся от силикатных расплавов в жидкую стадию кристаллизации материнских пород.

4. Синтетически-ликвационные — в которых ликвация происходит под влиянием впадения в магматические расплавы боковых пород.

Отмеченная классификация, построенная на строгих научных принципах и учитывающая реальные процессы, протекающие при становлении основных и ультраосновных интрузивных массивов, уже более сорока лет широко используется в практической работе советскими геологами и не утратила своей ценности в настоящее время. Эта классификация с теми или иными изменениями вошла во все учебники и учебные пособия по рудным месторождениям.

В деле разработки классификации магматических месторождений принял также участие Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1927). Однако он более широко подходил к понятию «магматические» месторождения, к которым он относил не только «продукты непосредственной кристаллизации магмы, но и продукты ее материального воздействия на окружающую среду как в непосредственном с нею соседстве, так и на более или менее далеком расстоянии, поскольку связь с данной магмой может еще быть прослежена». Рассматривая собственно магматические, или ортомагматические месторождения, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг среди них выделял: I — эвмагматические (или прототемагматические, то же сингенетические) и II — инъекционные (или эпигенетические). Эвмагматические в свою очередь разделяются на кристаллизационные, например, оловянный камень в гранитах, хромит и платина в дунитах, алмаз в гортонолитах и др., и ликвационные, например, сульфиды меди, железа, никеля в габбро-норито-



Академик
Александр Николаевич Заварицкий
(1884—1952)

вых породах, титаномагнетит в тех же породах и т. д. К инъекционным Ф. Ю. Левинсон-Лессинг относил месторождения магнетита в сиенитах, а также сульфидные эпигенетические залежи.

Отмеченная классификация Ф. Ю. Левинсона-Лессинга представляла большой интерес, поскольку в ней была сделана попытка разработки единой классификации для всех собственно магматических и послемагматических месторождений.

Помимо отмеченных научных работ, в рассматриваемый период проводились углубленные исследования в области выяснения генезиса магнетитовых месторождений типа горы Благодать.

Еще до революции развернулся диспут по поводу условий образования Гороблагодатского магнетитового месторождения. Одна группа исследователей во главе с Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом придерживалась представления о контактовом происхождении магнетитов горы Благодать. Другие во главе с К. И. Богдановичем (1907—1908) относили это месторождение к типу

магматических и считали его аналогичным по образованию с месторождением Кирунавара в Швеции.

В. М. Дервиз (1923—1924), изучавшая месторождение горы Благодать, склонилась к представлению К. И. Богдановича. По ее данным, после интрузии сиенитов в свиту нижнедевонских эффузивов (кератофиров и туфов) с пропластками известняка, обусловившей контактовый метаморфизм этой свиты, в нее вторглись сначала дайки ортофиоров, а затем рудная магма, отщепившаяся от сиенитовой в глубине остывающего интрузива. По В. М. Дервиз, эта магма, богатая минерализаторами, была близка к остаточным пегматитовым растворам. По мнению А. Н. Заварицкого, который придерживался взглядов, близких к представлению В. М. Дервиз, причиной ликвации первоначально однородной сиенитовой магмы с разделением ее на силикатовую и магнетитовую могла быть ассимиляция известняков нижнего девона; поэтому он относит месторождение горы Благодать вместе с Кирунаварой к типу синтетектически-ликвационных месторождений.

Следует отметить, что в первый период развития учения о рудных месторождениях в СССР в группу магматических включалось значительно больше разнообразных месторождений, по сравнению с настоящим временем. В частности, в эту группу А. Н. Заварицкий (1927—1929) относил наряду с другими месторождения медистых колчеданов, которые он вначале рассматривал в качестве инъекционных образований, имеющих своеобразное происхождение.

А. Н. Заварицкий отмечал в качестве одного из признаков инъекционного происхождения колчеданов якобы имевшее место раздвигание сланцев линзами колчеданов в момент формирования последних. По его данным, в колчеданных рудных телах нередко наблюдаются поперечные трещины, заполненные кварцем и медными рудами, очень напоминающие контракционные трещины в дайках изверженных пород и, очевидно, образовавшиеся при сокращении отвердевшей рудной массы, возникшей как одно целое. Он сравнивал колчеданные месторождения с пегматитовыми жилами, которые также раздвигают сланцеватые породы, образуют группы линз, причем почти всегда более крупные линзы сопровождаются мелкими. При выклинивании колчеданных линз замечается обильная пиритизация сланцев, которую можно сопоставлять с явлениями фельдшпатизации, наблюдаемыми при выклинивании пегматитовых рудных тел. В связи с этим А. Н. Заварицкий предполагал, что сульфидные расплавы (растворы), приводящие к формированию медноколчеданных месторождений, могут отождествляться с пегматитовыми расплавами, обогащенными летучими компонентами, которые могут выделяться в условиях пониженного давления. Сульфидные расплавы (растворы) обладают внутренним напря-

жением, позволяющим им проникать в породы в виде инъекций. Они очень концентрированы и, благодаря содержанию газов, удерживаются в жидком состоянии при сравнительно низких температурах (350—150° С), при которых происходит кристаллизация таких минералов, как барит. Газы, выделяющиеся при кристаллизации, воздействуют на вмещающие породы и подвергают их метаморфизму. Однако и сами сульфидные растворы, по мнению А. Н. Заварицкого, могут производить метасоматизм в большей степени, чем пегматиты.

Анализируя вопрос о генетической связи оруденения колчеданных месторождений с изверженными породами, А. Н. Заварицкий склонялся к представлению о возможной их генетической связи с кислой магмой, проявленной на Урале и в других рудных районах в виде кварцевых альбитофиров. Е. Е. Захаров (1927) и другие геологи, изучавшие колчеданные месторождения Урала, высказывали мнение о генетической связи колчеданного оруденения с гранитоидами и рассматривали эти месторождения в качестве типичных гидротермальных образований. Интересно отметить, что В. А. Обручев в своем учебнике «Рудные месторождения» (1928₂), хотя и поместил колчеданные месторождения в группу собственно магматических, следуя в этом вопросе А. Н. Заварицкому¹, в одном из подстрочных примечаний в учебнике указывал: «Генезис крупных линз колчеданов также является еще спорным; хотя мы поместили колчеданные месторождения в класс инъекционных, согласно А. Н. Заварицкому и др., но сами склоняемся больше в пользу пневматолитово-метасоматического генезиса подобных образований». Далее В. А. Обручев отмечает, что наблюдаемая плоская форма колчеданных залежей является результатом их послерудного динамометаморфизма. Как будет показано ниже, эта мысль В. А. Обручева была широко развита в дальнейшем А. Н. Заварицким.

ПЕГМАТИТЫ

Наряду с изучением магматических месторождений важные исследования проводились в области выяснения генезиса пегматитовых месторождений. В этом отношении, как уже упоминалось, особое значение имела статья А. Е. Ферсмана (1926), которая явилась преддверием к крупным исследованиям этих месторождений, проведенным им же несколько позднее. Основное внимание в этой статье автор обращал на то, что во многих

¹ А. Н. Заварицкий в результате последующих детальных исследований изменил свои представления об условиях образования колчеданных месторождений и, как будет показано ниже, отнес их к гидротермально-метасоматическим образованиям.

пегматитах проявляется определенный парагенезис минералов: при постепенно понижающейся температуре возникали все новые сообщества минералов, которые во многих случаях образовались за счет замещения ранее сформированных минеральных агрегатов.

Эти сообщества минералов, по данным А. Е. Ферсмана, представляют собой отдельные этапы, либо фазы, которые являются постоянными и они «...весьма характерны и могут служить для установления границ между совершенно определенными и притом физико-химически постоянными фазами пегматитового и пегматоидного процесса». А. Е. Ферсман намечил определенную границу между пегматоидной и пневматолитической фазами. Граница эта очень резка и она связана с новообразованием альбита (за счет микроклина и кварца), с отложением турмалина, мусковита и литиевых слюд. Вторая резкая граница определяется концом пневматолитической фазы с новообразованием зеленых слюдок типа жильбертита, отложением вторичных слюдок типа кукуита или лепидолита, растворением топаза, новообразованием гидротермального кварца и т. д. Третья граница определяется началом поверхностного гипергенного разрушения с образованием окислов железа и марганца, накоплением глин и т. д.

Исходя из этого, А. Е. Ферсман указал на проявление пяти самостоятельных фаз длительного процесса минералообразования пегматитов:

I. Магматическая фаза — как бы аплитовая, мелкозернистая зона по зальбанду (часто отсутствует): типичный письменный гранит, обычно с удлиненными полосками биотитовой слюды.

II. Пегматитовая фаза — одновременное (гранофировое) образование полевого шпата и кварца, граната, берилла и турмалина; границы с предыдущей фазой не резкие; частично наблюдается появление зон, обогащенных первичными плагиоклазами или гранатом.

III. Пневматолитическая фаза — с новообразованием альбита и выносом кварца или калиевого полевого шпата; в случае появления литиевых соединений — с образованием лепидолита за счет альбита.

IV. Гидротермальная фаза — начинающаяся новообразованием зеленых слюдок, выносом или разъеданием топаза, образованием цеолитов и отложением кварца.

V. Гипергенная фаза — проявляющаяся в каолинизации, образовании вторичных фосфатов, окислов железа и марганца.

Разделением пегматитового процесса на ряд фаз А. Е. Ферсман открыл новую страницу в деле выявления условий образования пегматитов, и как будет показано ниже, в дальнейшем исключительно глубоко и широко разработал вопросы генезиса этих своеобразных минеральных образований.

КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В рассматриваемый период советские ученые провели крайне интересные исследования в области выяснения условий образования контактово-метасоматических (скарновых) месторождений, изучение которых в нашей стране, как известно, было успешно начато Е. С. Федоровым еще в дореволюционное время и с 1911 г. продолжено А. Н. Заварицким.

В первые годы советской власти А. Н. Заварицкий проводил углубленные исследования скарново-магнетитовых месторождений горы Магнитной, результаты которых были им опубликованы в уже упоминавшейся капитальной монографии (1922—1927).

В этом труде А. Н. Заварицкий большое внимание уделил выяснению времени формирования скарново-магнетитовых месторождений, в общем ходе развития магматических и постмагматических процессов, а также выяснению условий, при которых эти процессы протекали. В то время многие геологи придерживались по вопросу генезиса контактово-метасоматических месторождений представлений М. Гольдшмита, который считал, что скарны и ассоциирующие с ними руды генетически связаны с интрузивами кислой магмы и по времени сформированы близко одновременно с кристаллизацией этих массивов. А. Н. Заварицкий на примере изучения магнетитовых месторождений горы Магнитной пришел к другому выводу. Он впервые при изучении подобных месторождений установил, что скарны и связанные с ними магнетитовые руды являются послемагматическими образованиями и формируются в поздние стадии становления интрузивных массивов, уже после внедрения жильной фации пород лампрофирового ряда.

А. Н. Заварицкий показал, что хотя лампрофиры сами и не замещаются магнетитовыми рудами (в связи с особенностями их литологических свойств), они древнее оруденения. Это доказывается их интенсивным метаморфизмом, выраженным в эпидотизации и пренитизации. Наряду с исключительно важным выводом, сделанным по вопросу о времени формирования магнетитовых руд, А. Н. Заварицкий показал также, что скарны и связанные с ними руды формируются частью за счет компонентов, приносимых из магмы, и частью заимствованных из вмещающих пород. К последним он относил алюминий, кальций и некоторые другие.

Проведенные А. Н. Заварицким исследования скарновых месторождений и сделанные им обобщения по условиям формирования скарнов и связанных с ними руд явились огромным достижением в области исследований контактово-метасоматических месторождений и послужили основой нового научного направления, развивающегося в нашей стране на исключительно высоком научном уровне.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Большой объем исследований советские геологи проводили в области изучения геологии и генезиса гидротермальных месторождений. Правда, в то время в эксплуатации находилось еще относительно небольшое количество месторождений цветных и благородных металлов, а месторождения редких и малых металлов даже еще и не разведывались. Тем не менее отечественными геологами были сделаны важные выводы об условиях образования всех типов послемагматических месторождений. В этом отношении опять-таки основную роль сыграли издания Комиссии естественных производительных сил АН СССР.

В изданиях Комиссии, а также частью в изданиях Геологического комитета впервые для нашей страны появились работы, характеризующие геологическое строение и генезис вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья кварц-вольфрамитовой и кварц-шеелитовой формаций, а также работы по кварц-касситеритовым месторождениям Ононской группы этой же провинции.

Работы эти в основном носили описательный характер, но в них приводились и некоторые обобщения. В частности, Докторович-Гребницкий и др. указывали на своеобразный состав грейзенов, сопровождающих кварц-вольфрамитовые жилы. В ряде случаев отмечалось наличие среди грейзенов топаза, ассоциирующего с кварцем и слагающего кварц-топазовую породу, в забандах кварц-вольфрамитовых жил. При этом во всех случаях жилы имеют поясовое строение. Докторович-Гребницкий обратил также внимание на то, что трещины, вдоль которых развито кварц-вольфрамитовое оруденение, представляют собой зоны рассланцевания — «гнейсификации», и что сами жилы сложены кварцем и содержат полосы аксессуарных золотистых бериллов, светлой слюды, вольфрамита, молибденового блеска, миспикеля, пирита, местами флюорита и топаза. Вместе с тем подчеркивалось сложное строение жил, представленных обычно целой сетью прожилков разной мощности. Обращалось внимание на то, что отдельные жилы богаты сульфидами меди, цинка и железа, причем некоторые из них являются скорее медно-цинковыми, чем кварц-вольфрамитовыми.

Эти данные представляли собой обобщения тщательно собранного оригинального фактического материала и имели большое значение в деле выявления промышленных типов вольфрамовых и оловянных месторождений.

В 1927 г. С. С. Смирновым были сделаны важные открытия касситерита среди свинцово-цинковых руд некоторых Забайкальских месторождений, что явилось началом установления нового в нашей стране касситерит-сульфидного промышленного типа

рудных месторождений, выявленного затем в ряде других районов Сибири.

В. А. Обручев (1922, 1924) все месторождения редких металлов, сопровождаемые грейзенами, относил к типу пневматолитовых образований. К этому же типу он относил фальбанды и импреньяции сульфидов. Он указывал, что «фальбанды и импреньяции сульфидов можно присоединить к классу пневматолитовых месторождений, так как они представляют продукты тех же эманаций из остывающей магмы». В. А. Обручев отмечал также, что рассеянная пиритизация, местами вытягивающаяся в шнуры, или небольшие линзочки, моложе контактовых месторождений, одновременна с пневматолитовыми и предшествует этапу накопления руд в гидротермальных месторождениях. Поэтому он региональную пиритизацию, непосредственно не сопровождаемую гидротермальными рудными жилами, относил к пневматолитовым образованиям. Непосредственно изучая подобную пиритизацию в Олекминско-Витимской тайге в Сибири, В. А. Обручев установил, что вкрапленный пирит, находимый среди древних сланцев, является источником образования элювиальных и других россыпей в изученном районе. Пирит совместно с более поздним кварцем, развитым в виде оторочек на гранях его кристаллов, сформировались, видимо, метасоматически по кристаллам сидерита. Последний отложился ранее, причем В. А. Обручев считал, что «...пирит является продуктом гидратных и коннатных вод, выгнанных из более глубоких толщ осадочной свиты под воздействием жара интрузии, немедленно после ее вторжения». Таким образом, в данном случае В. А. Обручев в качестве источника железа считал осадочные толщи.

Исключительно интересные материалы в рассматриваемый период начали собираться советскими геологами по вопросу генезиса средне- и низкотемпературных, так называемых мезотермальных и эпитеpmальных месторождений золота, свинца и цинка, сурьмы, ртути и других металлов. На основе анализа этих материалов появились, в частности, работы, посвященные рудносным трещинам, которые в случае залегания рудных тел в интрузивных породах считались то тектоническими, не связанными с остыванием интрузивов, то эндокинетическими, контракционными. Как будет показано ниже, этот вопрос дискутировался и позднее в ряде работ, посвященных гидротермальным месторождениям, опубликованным в годы первой и второй предвоенных пятилеток. Однако крупнейшие советские специалисты по рудным месторождениям и прежде всего В. А. Обручев указывали пути его возможного полного решения. В своей сводной работе (1929) В. А. Обручев указывает, что трещины, вместившие рудные жилы, являются экзокинетическими, поскольку они возникли в различных породах, которые они пересекают, но проявление их зависит от литологического состава пород. «В общем

случае трещины возникают и разветвляются в более хрупких породах и отклоняются от более вязких».

Важные соображения высказывались в то время по вопросу о многостадийности минералообразования. В. А. Обручев (1929), характеризуя одно из золоторудных месторождений Западной Сибири, указывал, что вначале в рудоносную трещину проникли сернистые эманации и пиритизировали боковые породы. Затем термы отложили серый кварц с колчеданами. «Новые движения открыли трещину еще раз и раздробили этот кварц; позднее ее заполнение состояло из белого кварца с колчеданами, менее богатого; позже всего отлагался кальцит». Таким образом, было показано, что различные стадии минерализации проявляются на фоне раскрытия трещин в процессе минерализации.

В ряде случаев высказывались соображения о закономерном размещении в рудных жилах обогащенных участков и столбов. В. А. Обручев (1929) отмечал, что богатые участки ряда жил располагались вблизи сдвигов и прежде всего в местах изменения простираения последних. Такого рода рудные столбы отмечались как на золоторудных месторождениях, так и на свинцово-цинковых типа Садона, где выявлялись мощные колонны, склоняющиеся на юг.

В рассматриваемый период советские геологи, обследовавшие гидротермальные месторождения, начали изучать возрастные взаимоотношения оруденения с дайками интрузивных пород. При этом чаще отмечались примеры более молодого возраста рудных жил, даже по отношению к наиболее позднему дайкам липарита, как это, например, было установлено В. П. Ренгартеном (1924) в месторождениях флюорита Востока СССР. Однако в некоторых случаях выявлялись дайки, секущие оруденение. В частности, Б. А. Успенским описывались для Кедабекского месторождения пересекающие рудные штоки жилы диабазов, вдоль контактов которых развиты оторочки минералов, обогащенные галенитом и сфалеритом.

В рассматриваемое время проводились исследования влияния литологического состава вмещающих пород на процессы оруденения. В этом отношении особое значение имеют исследования А. Н. Заварицкого условий залегания сидеритовых рудных тел Байкала (1925). Им было установлено, что углекислым железом замещались доломитовые известняки. Неблагоприятными для замещения оказались дорудные дайки диабазовых порфириров, которые подверглись лишь интенсивным процессам гидротермальных изменений, выраженных в их карбонатизации, серицитизации, частью преницитизации.

В некоторых случаях отмечалось, что на процессы оруденения особо благоприятное влияние оказывают углистые пропластки, вблизи которых образуются обогащенные рудные участки.

Такие факты были установлены для некоторых киноварных, типа Никитовского, и золоторудных месторождений.

Почти в каждой монографии, либо статье, посвященных гидротермальным месторождениям, как правило, анализировался вопрос генетической связи оруденения с массивами изверженных пород. Однако этот вопрос рассматривался лишь в самом общем виде и решался обычно упрощенно. В случае, если вблизи месторождений находились массивы интрузивных пород той же эпохи складчатости и вулканизма, что и оруденение, то тогда генетически оруденение связывалось именно с этими интрузивными массивами. В тех же случаях, когда подобных выходов интрузивных пород не наблюдалось на дневной поверхности, а отмечались лишь дайки кератофиров, либо других кислых пород (Садон, Эльбрусское месторождение и ряд других месторождений), В. А. Обручев и все другие исследователи связывали генетически оруденение сульфидных месторождений с интрузивами, залегающими на глубине и еще не вскрытыми эрозией. Обнажающиеся на дневной поверхности штоки и дайки интрузивных пород кислого состава рассматривались в качестве апофиз таких скрытых массивов.

ЭКЗОГЕННЫЕ И МЕТАМОРФОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Немалое внимание уделялось работам в области выяснения генезиса гипергенных руд, и прежде всего озерных и болотных железных руд. Исследователями была установлена важная роль в рудообразовании бактерий, которая ранее отрицалась некоторыми исследователями. Большое значение имели работы Б. В. Перфильева (1926). Его изучение грунтов Сев-озера показало, что отложение гидрата железа идет на всех глубинах. На глубине 82 и 94 м наблюдается особенно сложная картина тонких слоев, весьма богатых железом, перемежающихся со слоями ила и белого кварцевого песка различной толщины. Поверхностный слой грунта (лабильный), частицы которого приходят в движение при волнении, беден железом. Толщина этого неустойчивого слоя обратно пропорциональна глубине. Непосредственно подстилающий его слой особенно богат железом, образующим даже корку. Под ней залегают рыхлый ярко-оранжевый слой с массовым развитием нитей железобактерий. Работая над выяснением поставленной проблемы, Б. В. Перфильев получил определенные культуры железобактерий как в лаборатории, так и в руде. В окрестностях Ленинграда он собрал в оболочке песчанике кембрия железистые конкреции, по виду не отличающиеся от современных океанских и морских форм, в разных стадиях роста — от булавоочной головки до картофелины, с концентрическим строением и теми же тремя типами развития, которые

были получены в культурах колоний в лаборатории. Б. В. Перфильев пришел к выводу, что железooksисляющие микробы гораздо более разнообразны и распространены, чем ранее предполагали. Они обильно развиваются не только в пресных, но и в соленых водах, где ранее неоднократно подчеркивалось их отсутствие.

Изучение железных, а затем и марганцевых руд морского осадочного происхождения в ряде рудных районов давало возможность открывать новые пути для выявления генезиса этого важного промышленного типа месторождений. В частности, в результате исследований осадочных месторождений железа западного склона Урала, проводившихся К. В. Марковым (1927), было установлено, что в основании рудоносной свиты лежат коралловые мергели и известняки, а под ними среднедевонские песчаники прибрежного типа. При этом, очевидно, коралловые рифы обусловили образование лагун, которые являются наиболее благоприятными для осаждения иловатых рудоносных осадков. В последних частях окаменелости с целыми известковыми раковинами или их оолитовыми ядрами. Местами характеризуемые железные руды имеют конгломератовидное строение. Причины появления последних объяснялись К. В. Марковым как результат частичной трансгрессии в связи с восходящими колебательными движениями. Некоторые геологи указывали также на роль колебательных движений при образовании Керченских бурых железняков, залегающих согласно на ракушняках и мергелях понтического яруса. Таким образом, в рассматриваемый период советские геологи подметили исключительно важную закономерность, выраженную в формировании морских осадочных месторождений железа в специфических фациальных условиях, протекающих при определенном режиме тектонических движений.

По данным Д. Покровского (1928), в прибрежных условиях шло формирование и марганцевых руд типа никопольских, имеющих такое же оолитовое строение, как и бурые железняки керченского типа. Марганцевые рудные стяжения залегают неравномерно, местами скопляясь, особенно внизу, почти в сплошной пласт руды. В таких рудах часто встречались зубы акул, позвонки и кости китообразных, изредка окремнелая древесина, а также много ядер брюхоногих и пластинчатожаберных моллюсков иногда с остатками раковины, превращенной в пиролюзит. К 1928 г. было установлено, что рассматриваемая марганцевая руда состоит в основном из пиролюзита и псиломелана.

Анализируя условия образования марганцевых руд осадочного происхождения, некоторые геологи еще в дореволюционное время (Н. Соколов) указывали на роль бактерий при их образовании. Эта точка зрения поддерживалась многими исследователями, изучавшими марганцевые месторождения в первое де-

сятилетие советской власти. В дальнейшем этот вопрос был глубоко разработан В. И. Вернадским.

Широко проводившиеся еще в дореволюционное время исследования россыпных месторождений золота и платины в характеризуемый период были продолжены и углублены. В этом отношении особое значение имели работы Н. К. Высоцкого по россыпным месторождениям платины и В. А. Обручева по золотоносным россыпям. Согласно Н. К. Высоцкому (1923—1925), платина проявляется в виде значительных концентраций среди элювиальных отложений, развитых на всей площади платиноносных дунитовых массивов. При этом платина выявляется даже на вершинах возвышенностей, сложенных дунитами, где она концентрируется в слое мощностью порядка 10—15 см, обогащенного хромистым железняком. На склонах гор и в верховьях плоских логов платиноносный элювий достигает мощности 0,7—0,8 м, а в так называемых подерниках и верховиках, представляющих уже делювий, переходящий в аллювий, мощность этого слоя достигает 1,4—3 м и более.

Наибольшая концентрация платины среди аллювиальных месторождений наблюдается в долинных россыпях, где она накапливается в пласте глинистых песков, покоящемся на плотике.

В. А. Обручев доказал наличие в ряде районов Сибири элювиальных россыпей золота, развитых на значительной площади выходов пиритизированных сланцев, либо на участках обогащения этих сланцев мелкими прожилками и более крупными жилами кварца, либо, наконец, в местах развития среди этих сланцев вкрапленности сидерита. При этом разрез подобных россыпей является в общем постоянным и характеризуется развитием золота в нижней части элювиальных отложений, представленных разрушенными коренными породами, с более или менее обильной глинистой составляющей.

Среди золотоносных аллювиальных россыпей основное значение имеют долинные, современные, либо более древние с остатками мамонта и носорога. В рассматриваемый период все новые и новые, главным образом золотоносные аллювиальные россыпи открывались в различных районах Сибири и прежде всего на Алдане (Обручев, 1923, 1924). Во многих районах Сибири отмечались как долинные, русловые, так и террасовые россыпи. Рудоносные пласты в них залегают на различных глубинах, местами прямо под растительным слоем на глубине 1—2 м, а местами оказываются на глубине 20—40 и даже 80—100 м. Однако последующие детальные исследования показали, что такие глубокие россыпи в большинстве случаев оказались доледниковыми элювиальными.

В результате исследований советских геологов в рассматриваемый период в ряде районов были выявлены элювиальные россыпи вольфрамита.

Следует отметить успешное изучение месторождений поверхностного генезиса, образованных в результате сложного химического выветривания и получивших название «концентрационных», по В. А. Обручеву (1929), который разделил эти месторождения на три класса: а) конкреционные, б) секреторные и в) цементационные.

К первому классу В. А. Обручев относил рудные скопления, чаще всего представленные окисленными рудами железа, но также и некоторыми другими рудами, которые образуются в толще рыхлых поверхностных пород современных, либо более древних, но еще не подвергнутых процессу диагенеза. В случае образования подобных месторождений на головах известняковых толщ они могут заполнять и впадины в последних, а иногда и относительно глубокие карстовые полости. В этом случае можно выделить еще тип карстовых месторождений.

К секреторным В. А. Обручев относил рудопроявления, образующиеся подобно конкреционным вблизи земной поверхности осаждением из растворов, получающих рудный материал при процессах выветривания в результате разрушения ранее существовавших месторождений, или извлечения мелко-рассеянных в горных породах, или даже в слагающих их минералах, металлических соединений. Однако эти растворы осаждают руду не в виде конкреций в сплошных породах, а в различных трещинах и пустотах в виде секретов. В некоторых случаях В. А. Обручев допускал появление месторождений сложного генезиса, сверху представленных конкреционными образованиями, а внизу секреторными.

К цементационным месторождениям В. А. Обручев относил зону вторичного обогащения сульфидных месторождений.

Позднее конкреционные и секреторные месторождения стали рассматривать совместно и присвоили им название инфильтрационных. Интересные данные были собраны в процессе изучения концентрационных (конкреционных) месторождений центральных районов РСФСР. Они представляют собой скопления бурых железняков в карстах, на известняках девона, или карбона, а также частью на пермских отложениях. Было выяснено, что в этих условиях руда представлена то бурым железняком, то глинистым сидеритом, который обычно в связи с окислением покрывается коркой бурого железняка.

Интересные данные были получены А. Е. Ферсманом, Д. И. Щербаковым и К. А. Ненадкевичем по уран-ванадиевым рудам, заполняющим сложные карсты в палеозойских известняках.

Ценными явились работы по концентрационным месторождениям никеля, образующимся в результате выветривания змеевиков, проведенные Н. А. Шадлуном (1923). Этот исследователь углубил изучение экзогенных никелевых месторождений, успеш-

но начатое еще в дореволюционное время А. П. Карпинским, и показал, что наиболее богатые силикатные никелевые руды образуются в карстовых углублениях на известняках, залегающих в контакте с серпентинитами.

Развивающиеся поисково-разведочные работы все в большем и большем масштабе требовали от геологов выяснения определенных критериев с целью правильной оценки рудных месторождений по их выходам. В соответствии с этим были начаты детальные минералогические исследования зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений. В этих исследованиях значительную роль сыграла работа И. С. Яговкина (1924), посвященная вопросу вторичного обогащения сульфидов, где И. С. Яговкин познакомил читателей с точкой зрения американского геолога Эммонса по данному вопросу, критически проанализировал его взгляды и изложил новые данные, собранные в процессе изучения зоны гипергенеза ряда медных и других сульфидных месторождений Центрального Казахстана и других районов.

Наряду с другими генетическими типами месторождений в рассматриваемый период изучались и метаморфогенные железорудные месторождения железистых кварцитов. Много новых материалов было собрано в процессе изучения железорудных месторождений Кривого Рога; в 1926 г. впервые были опубликованы результаты разведочных работ по Курской магнитной аномалии.

Анализ материалов по Кривому Рогу вызвал острую научную дискуссию по вопросу об условиях образования железистых кварцитов. Дискуссия развернулась между И. И. Танатаром, с одной стороны, и П. П. Пятницким и Н. И. Свитальским, с другой. И. И. Танатар (1923, 1926) пытался обосновать гипотезу магматического происхождения железорудных месторождений Кривого Рога и прежде всего магнетитовых столбообразных залежей. П. П. Пятницкий (1924—1925), Н. И. Свитальский (1924) и ряд других исследователей обосновывали гипотезу происхождения рассматриваемых месторождений в результате глубокого метаморфизма железных руд первично-осадочного происхождения. При этом высказывалось предположение, что осаждение руды происходило в бассейне из коллоидных растворов, приносящих гидрат окиси железа и кремнезема. Поскольку первый из них представляет собой золь положительный, а гидрат кремнезема — отрицательный, высказывалось предположение, что они друг друга осаждают. Так объяснялось образование чередующихся тонких слоев гидроокислов железа и кремнезема, позже лишившихся воды благодаря метаморфизму.

В результате разведочных работ на Курской магнитной аномалии и обобщения полученных данных А. Д. Архангельский и И. Корбуш (1926) установили, что под отложениями палеогена,

мела, юры и девона мощностью от 150 до 200 м залегает докембрийская свита, в состав которой входят рудоносные кварциты значительной мощности. Докембрийские отложения КМА имеют много общего с криворожскими образованиями, но отличаются от последних наличием известняков и доломитов и отсутствием аркозов, филлитов и ряда других отложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ПЕРВОМУ ПЕРИОДУ

В первые же годы советской власти, выполняя мероприятия, намеченные В. И. Лениным, отечественные геологи начали выявлять богатейшие минеральные месторождения и одновременно существенно углублять теоретические основы учения о рудных месторождениях.

Из изложенных выше данных нетрудно заключить, что в течение первого десятилетия советской власти отечественные геологи, работая над расширением сырьевой базы страны, не только добились значительных производственных успехов, но и внесли существенный вклад в разработку ряда теоретических проблем рудообразования. При этом основные достижения были получены в области совершенствования представлений по геологии месторождений всех главнейших генетических типов.

1. Важные новые данные были получены по выяснению условий формирования собственно магматических месторождений, связанных с гипербазитами. Вместо имевшихся к началу рассматриваемого периода представлений о раннемагматическом образовании скоплений хромитов и платины было установлено, что они накапливаются после кристаллизации породообразующих оливина и пироксена. Впервые А. Н. Заварицким была создана классификация магматических месторождений, построенная с учетом возможных физико-химических процессов их формирования.

2. Были сделаны первые шаги по выяснению генезиса пегматитовых месторождений. А. Е. Ферсман развил учение о фазах формирования пегматитов. Всего было выделено пять таких фаз от магматической до гипергенной. При этом по развитию минеральных ассоциаций были намечены границы между пегматоидной и пневматолитическими фазами, пневматолитической и гидротермальной, а также между гидротермальной и гипергенной. Эти данные явились очень важным преддверием к крупным дальнейшим исследованиям.

3. В связи с исследованиями А. Н. Заварицкого на горе Магнитной существенно изменились представления о времени формирования контактово-метасоматических скарновых месторождений. Было показано, что эти месторождения образуются не в период остывания массивов гранитоидов, как это ранее пред-

ставляя М. Гольдшмит, а после их кристаллизации и внедрения даек лампрофиров в послемагматическое время.

4. Полученные в рассматриваемый период данные при изучении высокотемпературных месторождений, связанных с грейзами, позволили В. А. Обручеву и другим отнести их к пневматолитическим образованиям.

5. Новый интересный материал был получен при изучении средне- и низкотемпературных гидротермальных месторождений — свинцово-цинковых, сидеритовых и особенно золоторудных. В. А. Обручев установил многостадийность формирования последних и показал, что развитие каждой стадии сопровождалось тектоническими движениями вдоль рудоносных трещин. Важные данные о генезисе гидротермальных месторождений были опубликованы В. К. Котульским.

6. Новые ценные сведения были получены для решения вопроса об условиях формирования осадочных месторождений железа и марганца. Было установлено, что эти месторождения образуются в прибрежных областях, часто в лагунах, при частичной трансгрессии, вызванной колебательными движениями. Б. В. Перфильев показал важное значение бактерий в формировании этих месторождений. Наряду с этим ценные сведения были получены об источниках золота и условиях накопления в россыпных месторождениях различного типа промышленных концентраций золота и платины.

7. Было положено начало разработки учения о месторождениях, образующихся в результате сложного химического выветривания, и предложен первый вариант их классификации. Впервые было показано, что силикаты никеля концентрируются в карстовых углублениях на контакте известняков и серпентинитов. Развернулись также детальные исследования зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений.

8. Была проведена широкая дискуссия по вопросу о генезисе железистых кварцитов и богатых железных руд Кривого Рога. И. И. Танатар отстаивал представление о магматическом происхождении железорудных месторождений Кривого Рога и прежде всего столбообразных магнетитовых залежей. П. П. Пятницкий и Н. И. Свитальский придерживались мнения об их метаморфогенном происхождении. Вторая из этих гипотез имела больше последователей среди геологов, изучающих эти месторождения.

Общей особенностью геологических исследований рассматриваемого периода является то, что они оказались более целеустремленными. Научные исследования все теснее и теснее связывались с практикой, с запросами промышленности. Результаты этих исследований явились началом и основой для их расширения в дальнейшем.

ВТОРОЙ ПЕРИОД

1929—1940 гг.

Закончив восстановление разрушенного хозяйства, народы Советского Союза вплотную подошли к строительству социализма. В 1927 г. XV съезд ВКП(б) дал директиву о составлении пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР, и в 1929 г. на XVI партконференции был принят пятилетний план. Планировалось размер капиталовложений на пятилетку (1928—1933 гг.) довести до 64,6 млрд. руб. и удвоить объем довоенной промышленности. Было намечено по черной металлургии организовать строительство Магнитогорского, Тельбесского, Днепровского и Криворожского заводов. По химической промышленности ввести в строй Березниковский комбинат, химический комбинат в Донбассе и начать эксплуатацию фосфоритов в Московской (егорьевские фосфориты) и в других областях. Было принято решение повысить в 1932/33 г. по отношению к 1927/28 г. выплавку чугуна с 3,5 до 10 млн. т, добычу угля — с 35 до 75 млн. т, производство удобрений — с 175 тыс. т до 8 млн. т.

Ноябрьский Пленум ЦК ВКП(б) 1929 г. обратил внимание на необходимость усиления подготовки технических кадров, и было принято постановление об открытии в течение первой пятилетки 47 новых высших технических учебных заведений и 172 техникумов.

Проходивший в 1930 г. XVI съезд партии одобрил решение ЦК ВКП(б) о доведении выплавки чугуна до 17 млн. т в год и о необходимости форсирования строительства Магнитогорского, Кузнецкого, Запорожского железодельных заводов, а также о своевременном строительстве Нижнетагильского и Бакальского заводов и создании предприятий цветной металлургии на Урале, в Казахстане и Сибири.

XVI съезд одобрил также решение ЦК ВКП(б) от 15 мая 1930 г. о необходимости организации на Востоке второго угольно-металлургического центра путем использования богатейших угольных и рудных месторождений Урала и Сибири и указал, что «обеспечение развития народного хозяйства выдвигает необходимость придать такие темпы геологоразведочному делу, кото-

рые должны значительно опередить темпы развития промышленности с целью заблаговременной подготовки минерального сырья».

Семнадцатая конференция ВКП(б), проходившая в 1932 г., подвела итоги работ промышленности в первую пятилетку и постановила довести выплавку чугуна к 1937 г. до 22 млн. т и полностью обеспечить хозяйство страны медью, свинцом, цинком, алюминием и редкими элементами.

На XVII съезде ВКП(б), проходившем в 1934 г., был утвержден план второй пятилетки с ассигнованиями на развитие промышленности в 33,5 млрд. рублей. Около $\frac{1}{2}$ всех капитальных затрат было предусмотрено на развитие восточных районов.

Большое внимание уделил вопросам развития сырьевой базы и геологоразведочных работ XVIII съезд партии. В резолюциях съезда ставилась задача развернуть геологоразведочные работы, обеспечивающие промышленными запасами сырья действующие и строящиеся в третьем пятилетии предприятия и создающие переходящие на следующие годы резервы новых промышленных запасов во всех районах Союза.

Съезд постановил в третьей пятилетке установить объем капитальных работ в 192 млрд. рублей; к концу ее довести выплавку чугуна до 25 млн. т; выплавку меди увеличить в 2,4 раза, производство алюминия — в 3,8 раза; приблизить промышленность к источникам сырья.

Вопросам развития сырьевой базы промышленности постоянно уделялось большое внимание Партией и Правительством, и геологи провели огромную работу, обеспечившую создание и развитие второй угольно-металлургической базы на Востоке, второго Баку в Приуралье и Поволжье, промышленности цветных и редких металлов на Урале, Алтае, в Казахстане, республиках Средней Азии, на Кавказе и в восточных районах СССР.

Широко развернулись геологические исследования Кольского полуострова и других северо-западных районов страны. Эти изыскания привели к выявлению крупнейших месторождений железа, никеля, а также редких металлов. Для освоения северных районов Европейской части СССР был создан особый Карело-Мурманский комитет, работавший под руководством С. М. Кирова, занимавшийся разработкой проблем промышленного освоения разведываемых минеральных богатств упомянутых районов. Для небывалого развертывания геологоразведочных работ Советское государство провело ряд важных организационных мероприятий. Были усилены и расширены работы Геологического комитета, к концу рассматриваемого этапа реорганизованного в Комитет по делам геологии при СНК. Во всех союзных республиках и в некоторых крупных областных центрах были организованы районные геологические управле-

ния, широко развернувшие геологосъемочные и геологопоисковые работы. Наряду с этим были созданы главные геологоразведочные управления в Наркомтяжпроме, а после его реорганизации в 1938 г. в шести министерствах — угольной, нефтяной промышленности, черной, цветной металлургии и др. Эти управления, в свою очередь, создали во многих союзных республиках и крупных областях геологоразведочные тресты и конторы, партии и экспедиции, которые широко развернули работы в районе действующих рудников и на новых площадях.

Большой размах получили научно-исследовательские работы в области геологии месторождений полезных ископаемых. Были усилены работы научных институтов Академии наук СССР — геохимии и минералогии, петрографического и геологического, на базе которых в 1935 г. после перевода их из Ленинграда в Москву был организован Институт геологических наук АН СССР. Во всех союзных республиках и некоторых районах были организованы филиалы АН СССР с геологическими лабораториями и отделами. На базе многих из этих филиалов в дальнейшем были созданы республиканские академии наук с институтами геологических наук. Широко развернулись научно-исследовательские работы в области учения о месторождениях полезных ископаемых в созданном в 1931 г. на базе Геолкома Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте (переименованном в 1939 г. во Всесоюзный научно-исследовательский институт — ВСЕГЕИ), во Всесоюзном институте минерального сырья (ВИМС) и Научно-исследовательском геологоразведочном институте золота. В Министерстве цветной металлургии были организованы новые отраслевые научно-исследовательские институты с геологическими лабораториями и отделами. В больших масштабах научные исследования начали проводиться в геологоразведочных вузах, кафедры которых включились в решение сложных народнохозяйственных задач. Для ведения всех этих многочисленных работ в области изучения геологии месторождений полезных ископаемых с самого начала первой пятилетки резко возросла потребность в геологических кадрах.

Наши высшие учебные заведения хорошо справились с задачей по подготовке необходимых геологических кадров. Геологическая подготовка готовилась в Ленинградском и Днепропетровском горных институтах, Донском политехническом и Томском технологическом, где в первые годы советской власти были открыты геологоразведочные факультеты (Захаров, 1968). Расширилась также подготовка геологов в Ленинградском, Харьковском, Ростовском, Юрьевском (г. Дерпт), Казанском, Новороссийском (Одесса), Томском, Саратовском и Пермском университетах. В 1918 г. были созданы геологоразведочные факультеты во вновь открытых Владивостокском, Бакинском и Тбилисском политех-

нических институтах, Свердловском горном институте, а также в Московской горной академии. В дальнейшем такие же факультеты были открыты во вновь организованных горно-металлургических и технических институтах — в Алма-Ате, Ташкенте, Орджоникидзе и других городах.

С 1921 г. началось создание новых университетов в Ташкенте, Иркутске, Киеве, Минске, Ереване, Душанбе, Фрунзе и в других городах; во всех этих университетах были организованы геологические факультеты.

В результате в главнейших сырьевых районах СССР появились высшие учебные заведения, готовящие геологов.

Тысячи геологов, закончившие высшие учебные заведения и техникумы, под руководством опытных специалистов начали проводить геологопоисковые работы.

Советские геологи, работавшие в производственных организациях, научно-исследовательских институтах и вузах, со всем советским народом включились в дело построения социализма в нашей стране.

Геологические исследования проводились все более целеустремленно в соответствии с намечавшимися пятилетними планами, предусматривавшими создание мощной сырьевой базы для развития черной и цветной металлургии, угольной и нефтяной промышленности, а также промышленности неметаллических ископаемых. Наряду с этим решалась задача по развитию естественных производительных сил и в союзных республиках, где в царское время горной промышленности почти не существовало или она находилась на чрезвычайно низком уровне.

Большой коллектив советских геологов, воодушевленный строительством социализма, работал с большим напряжением, преодолевая все трудности проведения геологоразведочных работ в высокогорных областях и Заполярье, в восточных районах СССР и знойных пустынях и в других трудно доступных районах.

Геологи с честью решили те задачи, которые были поставлены перед ними Партией и Правительством. В различных районах СССР были открыты и разведаны колоссальные минеральные богатства в тысячах месторождений полезных ископаемых и притом таких, которых не знали в царской России. Были выявлены, например, месторождения никеля, кобальта, ванадия, сурьмы, мышьяка, олова, вольфрама, молибдена, бокситов и разнообразных неметаллических ископаемых. Запасы же основных черных, цветных и благородных металлов СССР увеличились во много десятков раз. Эти открытия позволили советскому народу еще в первой пятилетке создать новые горно-промышленные центры, обеспечивающие возможность выполнения задач по индустриализации страны, поставленных Партией и Правительством на первую, а затем и на последующие пятилетки.

В данной небольшой работе не представляется возможным подробно рассмотреть даже главнейшие из сделанных открытий в период 1929—1940 гг. Упомянем лишь, что к особо важным открытиям и блестящим результатам разведочных работ на ранее выявленных месторождениях относятся:

1. Открытие Ю. А. Билибиным и другими золотоносных россыпей, а затем и месторождений коренного золота на Колыме.

2. Открытие под руководством и по прогнозам С. С. Смирнова оловорудных месторождений в Восточном Забайкалье, Верхоянье и на Дальнем Востоке.

3. Открытие Н. А. Смольяниновым и другими целой серии промышленных шеелитовых месторождений в Средней Азии; открытие геологами В. А. Флеровой и Б. В. Орловым на площади, рекомендованной к поискам С. П. Соловьевым, Терныаузского вольфрам-молибденового месторождения; открытие по прогнозам Н. И. Наковника вольфрамовых месторождений в Центральном Казахстане.

4. Открытие геологом М. В. Бесовой Джидинского вольфрамового месторождения в Бурят-Монголии.

5. Открытие И. В. Дюгаевым главной зоны свинцово-цинковых руд на Алтын-Топканском рудном поле в северном Таджикистане.

6. Переоценка М. П. Русаковым Алмалыкского месторождения порфириновых медных руд в Узбекистане, а В. М. Крейтером — Каджаранского медно-молибденового месторождения в Армении.

7. Блестящее подтверждение разведочными работами прогнозов Н. К. Высоцкого о промышленной ценности Норильского медно-никелевого месторождения в устье Енисея.

8. Открытие и начало разведки крупных железорудных объектов на Кольском полуострове — месторождений железистых кварцитов в Заимандровском районе и Ено-Ковдорского месторождения магнетитовых руд, связанного с интрузией центрального типа¹.

9. Установление разведочными работами, проводившимися под руководством М. П. Фивега, огромного масштаба уникального Хибинского месторождения апатитов, открытого под руководством А. Е. Ферсмана еще в 1923 г.

10. Открытие Н. А. Каржавиным и А. К. Брунштейном североуральских бокситовых месторождений, впервые выявленных еще Е. С. Федоровым, который отнес их к железорудным образованиям.

11. Подтверждение разведочными работами, проводившимися под руководством С. Ф. Малявкина, а затем А. Н. Волкова и

¹ За участие в создании железорудной базы для черной металлургии на северо-западе страны Д. Ф. Мурашову, К. М. Кошинцу и Д. В. Шифрину в 1948 г. присуждена Государственная премия.

С. Г. Вишнякова, значительных запасов бокситовых руд на Тихвинском месторождении.

В выборе путей развития поисковых и геологоразведочных работ важное значение сыграло первое в СССР совещание по геологии цветных, благородных и редких металлов, проведенное в январе 1932 г. в Ленинграде в ЦНИГРИ (ныне ВСЕГЕИ) под руководством И. Ф. Григорьева, М. П. Русакова и В. М. Крейтера и при активном участии С. С. Смирнова и других геологов. Большое значение имели также другие совещания тех лет: Совещание 1936 г. по структурам рудных полей и месторождений, проведенное в Ленинграде, ЦНИГРИ, в котором приняли активное участие М. М. Тетяев, С. С. Смирнов, М. П. Русаков, Л. А. Варданьянц, Г. С. Лабазин, И. И. Князев, С. П. Соловьев, В. Н. Котляр и др., внесшие важный вклад в разработку методики изучения геологии рудных полей.

Совещание по геологии олова, проведенное в 1936 г. под руководством Д. И. Щербакова в Институте геологических наук АН СССР в Москве, на котором большой интерес вызвала творческая дискуссия по вопросу о главных генетических типах месторождений этого металла между И. Ф. Григорьевым и С. С. Смирновым. Совещание по сырьевой базе молибдена, проведенное под руководством Д. И. Щербакова и С. С. Смирнова в 1937 г. Упомянутые, а также и другие совещания и совместные работы многих геологов плодотворно развивали коллективные усилия, направленные на наиболее успешное решение сложнейших вопросов геологии.

В ходе геологоразведочных работ крупные коллективы геологов росли и крепили. Академик С. И. Вавилов — президент Академии наук СССР — отмечал: «Коллективность работы, вообще характерная для советской науки, особенно ярко выразилась в громадных геологических исследованиях за годы пятилеток.



Титульный лист книги В. А. Обручева
«Рудные месторождения»

Эти исследования в различных областях Советского Союза в поисках полезных ископаемых, металлов и нефти определили сырьевую базу советской промышленности. Работа академиков А. Д. Архангельского, И. М. Губкина, С. С. Смирнова, П. И. Степанова, А. Е. Ферсмана, В. А. Обручева и их многочисленных учеников позволила решить задачи, имевшие важнейшее значение для реализации пятилеток.

Большие успехи по геологическому изучению страны (к 1940 г. геологической съемкой было охвачено уже 65,8% территории СССР)¹, а также по выявлению разнообразного минерального сырья были бы немислимо без глубокого овладения основами учения в области геологии месторождений полезных ископаемых большой армии советских геологов. Искусству геолога учились не только путем изучения курса «Полезные ископаемые», и в частности «Рудные месторождения», в высших учебных заведениях, но прежде всего путем ознакомления с научными статьями и монографиями по различным вопросам рудообразования. В этом отношении особую роль сыграла книга В. А. Обручева «Рудные месторождения» (1934), явившаяся переизданием ранее опубликованного его учебника по данному предмету, с существенными дополнениями, сделанными в результате обобщений материалов, полученных по изучению рудных месторождений в первой пятилетке. Большую ценность представляли собой учебники М. А. Усова «Краткий курс рудных месторождений», вышедший двумя изданиями (1931, 1933), и Н. И. Свистальского «Курс рудных месторождений» (1933). Важное значение в деле популяризации идей по теории рудообразования имело также учебное пособие «Краткий курс месторождений полезных ископаемых», составленное А. Г. Бетехиным, П. М. Татариновым и др. (1938), книга С. С. Смирнова по зоне окисления сульфидных месторождений (1936₂), труды А. Е. Ферсмана по пегматитам (1940), геохимии (1933—1939), а также монографии и статьи А. Н. Заварицкого (1936, 1937, 1939), С. С. Смирнова (1932, 1934, 1937₂ и др.), А. Г. Бетехина (1936, 1937₂ и др.), А. В. Королева, (1936), Д. И. Щербакова (1935, 1937 и т. д.) и др. В ИГН АН СССР, а также в некоторых институтах союзных академий были организованы рудные отделы и с 1937 г. стали публиковаться в трудах АН СССР специальные монографии — серия рудная. Многочисленные книги, монографии и отчеты были опубликованы различными экспедициями Академии наук СССР и другими организациями, которые освещали вопросы геологии

¹ В 1918 г. было закартировано лишь 10% территории страны в масштабе 1 : 500 000 и мельче, а в 1929 г. геологической съемкой было охвачено 20% территории, из коих 18% в масштабе 1 : 500 000 и мельче и 2% в масштабе 1 : 200 000.

ПРОБЛЕМЫ
СОВЕТСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Под редакцией
акад. И. М. Губкина

PROBLEMS
OF GEOLOGY OF U.S.S.R.

I. M. Gubkin
(Member of the Academy of Science of U.S.S.R.)
Editor

ТОМ I

1933

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ДИТИ ЛЕНИНГРАД

№ 1

1936

N 1

ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ И НАУК СССР

ОТДЕЛЕНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ
И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

СЕРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
DE L'UNION DES RÉPUBLIQUES SOVIÉTIQUES SOCIALISTES

CLASSE DES SCIENCES
MATHÉMATIQUES
ET NATURELLES

SÉRIE GÉOLOGIQUE

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА MOSCOW

Титульный лист первого номера журнала
«Проблемы советской геологии»

Титульный лист первого номера
журнала «Известия АН СССР,
серия геологическая»

месторождений отдельных металлов, либо характеризовали рудоносность целых рудных районов.

Статьи по вопросам, связанным с изучением рудных месторождений, публиковались в периодических изданиях и, в частности, в журнале «Записки Всесоюзного минералогического общества». С 1933 г. стал выходить новый журнал «Проблемы советской геологии», а с 1936 г. — журнал «Известия АН СССР, серия геологическая», включавшие в список своих публикаций много важных работ по результатам изучения рудных месторождений. Статьи по вопросам рудообразования публиковались также в журналах «Разведка недр», «Советская золотопромышленность», «Редкие металлы» и «Цветные металлы».

В выпуске ценных монографий и статей по рудным месторождениям большую роль сыграли геологоразведочные вузы и университеты, среди которых прежде всего должны быть упомянуты МГРИ, МГУ, ЛГИ, ЛГУ и др., а также филиалы АН СССР и республиканские академии наук.

Учение о рудных месторождениях развивалось и крепло в соответствии с ростом поисковых и геологоразведочных работ на

руды металлов, а также по мере общего роста социалистической горнорудной промышленности. Учение это в свою очередь оказывало большое влияние на развитие горной промышленности и способствовало созданию новых отраслей горной промышленности и новых горно-металлургических центров. Общий же рост промышленного производства СССР с 1933 по 1938 г. составил 238,8%; по сравнению с довоенным уровнем промышленное производство за это время выросло более чем в 9 раз.

Учение о рудных месторождениях приобрело исключительные темпы развития как в общетеоретическом направлении, так и в направлении выявления новых генетических и промышленных типов месторождений.

Для того, чтобы в основных чертах рассмотреть главнейшие достижения в области интересующей нас науки за годы предвоенных пятилеток, мы кратко охарактеризуем развитие общетеоретических исследований, а также рассмотрим работы по условиям образования различных генетических типов рудных месторождений начиная от более высокотемпературных магматических и кончая гипергенными.

Особое внимание при этом мы уделим основным теоретическим положениям, высказанным советскими учеными по условиям образования наиболее сложной, но в то же время исключительно важной в практическом отношении гидротермальной группы месторождений.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Огромный фактический материал, полученный при изучении рудоносных провинций, районов и отдельных месторождений самых различных типов, явился основой для создания нового металлогенического направления в учении о рудных месторождениях. Направления, исследующего закономерности пространственного размещения месторождений в зависимости от геологического строения рудоносных площадей и выявляющего причины, обуславливающие эти закономерности. Особо важное значение имели исследования А. Е. Ферсмана (1932), М. А. Усова (1931), И. Ф. Григорьева (1934—1936), Д. И. Щербакова (1935) и С. С. Смирнова (1932, 1936₁), разработавших представление о рудных поясах, в пределах которых развиты месторождения одного или нескольких металлов.

Эти работы сыграли важную роль в деле уточнения закономерностей размещения месторождений различных типов в целых провинциях и регионах и способствовали правильному планированию поисковых работ на металлы силами больших комплексных экспедиций и целыми группами геологопоисковых партий. Благодаря этому советским геологам удалось разрешить важные государственные проблемы по обеспечению нашей страны многими видами минерального сырья. На Востоке СССР разверну-



Академик
Сергей Сергеевич Смирнов
(1895—1947)

лись поиски вдоль так называемого Монголо-Охотского пояса, намеченного А. Е. Ферсманом, в пределах которого были выявлены многочисленные месторождения цветных и особенно редких металлов.

Особый интерес вызвали исследования С. С. Смирнова, проведенные им в Восточном Забайкалье (1936), а затем в северо-восточных районах нашей страны. С. С. Смирнов показал, что в Восточном Забайкалье намечаются три рудных пояса, вытягивающиеся в северо-восточном направлении и концентрирующие свинцово-цинковое, редкометальное и золото-молибденовое оруденения.

И. Ф. Григорьев (1934—1936) на примере Алтайской металлогенической провинции попытался объяснить возникновение полиметаллического и олово-вольфрамового поясов Рудного Алтая и Калбы в связи с различными тектоническими условиями, при которых происходило остывание рудоносных интрузивных

массивов. При этом он показал, что формирование полиметаллического пояса, ограниченного крупными зонами смятия, происходило в неспокойной тектонической обстановке, обусловившей выжимание остаточных магматических расплавов, от которых и отделялись рудоносные растворы, сформировавшие многочисленные полиметаллические месторождения Рудного Алтая. В пределах Калба-Нарымского рудного пояса остывание металлоносных гранитных интрузивов не сопровождалось значительными тектоническими деформациями, что привело к постепенной дифференциации магматических расплавов и последовательного отделения от них рудоносных растворов, с которыми было связано формирование оловянных и вольфрамовых месторождений.

Д. И. Щербаков в своей известной работе «Особенности металлогении Средней Азии» (1935) на основе детального рассмотрения рудных месторождений этой своеобразной рудоносной провинции выделил особый «тяньшанский» тип оруденения, характеризующийся исключительным разнообразием месторождений и многометальностью.

Анализируя размещение рудных месторождений и рудопроявлений Алайского и Туркестанского хребтов, Д. И. Щербаков впервые показал наличие региональной зональности оруденения, проявленной образованием поясов оловорудного, мышьяково-полиметаллического и сурьмяно-ртутного. Такая закономерность определяется особенностями тектоники и различиями в составе магматических образований.

В зависимости от петрологических особенностей интрузивных массивов гранитоидов различных районов Тянь-Шаня В. Н. Наследов в 1937 г.¹ охарактеризовал металлогенические особенности всей Средней Азии.

Металлогенические провинции Малого и Большого Кавказа и особенности их рудоносности рассмотрены в работах В. Г. Грушевого² и Л. А. Варданьянца (1931), В. Н. Котляра (1934, 1938, 1940) и несколько позднее Д. И. Щербакова. Для этой территории были выделены палеозойская, мезозойская и альпийская металлогенические эпохи и каждая из них была охарактеризована в зависимости от петрологических особенностей разновозрастных массивов гранитоидов, проявленных в изученных районах. При этом было показано, что структурные условия локализации послемагматического оруденения определяются не только разрывными нарушениями северо-западного кавказского направления, но и поперечными разрывами.

Н. Г. Кассин (1935, 1938) на примере Центрального Казахстана, в пределах которого он различал платформы, области

¹ Книга была издана в 1961 г. (см. литературу пятого периода).

² Обобщающая работа В. Г. Грушевого по металлогении Малого Кавказа была опубликована в 1953 г. (см. литературу четвертого периода).



Академик
Дмитрий Иванович Щербakov
(1893—1966)

шельфа и складчатые области, пытался выявить особенности металлогенических зон в зависимости от того, к каким геотектоническим единицам они приурочиваются. Им было показано, что большая часть послемагматического оруденения развилась в складчатых областях, в пределах которых широко проявлен магматизм.

Из изложенного выше видно, что советские геологи, проводя углубленные металлогенические исследования, не только выявили эмпирические закономерности размещения эндогенных месторождений в пределах рудных поясов и зон, но также пытались глубоко познать причины, обуславливающие эти закономерности и вызванные особенностями истории геологического развития рудоносных районов и провинций.

Наряду с отмеченными металлогеническими обобщениями по большим рудным регионам исключительно важную роль сыграли также исследования закономерностей проявления рудоносности в отдельных рудных районах. Важнейшими можно

СОВЕТ НАРОДНЫХ КОМИССАРОВ СОЮЗА ССР
АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ТАДЖИКСКО-ПАМИРСКАЯ
ЭКСПЕДИЦИЯ 1934 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА - 1934 - 100 страниц

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ТАДЖИКСКО-ПАМИРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ 1934 г.

Б. Н. НАСЛЕДОВ

КАРА-МАЗАР

ВЫП. 311 • МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
Геологическая служба Таджикской АН СССР

ПРИГРАДИЗДАНИЕ ТАДЖИКСКО-ПАМИРСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 1934

Титульный лист книги «Таджикско-Памирская экспедиция 1934 г.»

Титульный лист книги
Б. Н. Наследова «Кара-Мазар»

считать работы М. А. Усова, А. Н. Заварицкого, С. С. Смирнова, Д. И. Щербакова, М. П. Русакова, Д. Ф. Мурашева, В. В. Вебера, Б. Н. Наследова, Н. И. Свительского, Ю. А. Билибина, О. Д. Левицкого, К. И. Сатпаева, Г. С. Лабазина, А. А. Якжина, Г. Л. Падалки, Е. Г. Багратуни, В. П. Нехорошева, В. А. Цареградского, Е. Е. Захарова, Г. П. Волорovichа, В. Н. Котляра, П. Н. Кропоткина и др. Эти исследователи устанавливали главнейшие металлогенические эпохи, характерные для каждого из изученных районов, намечали генетическую связь оруденения определенных металлов с теми или иными интрузивными комплексами, сформированными в различные циклы интрузивной деятельности, а также выясняли роль геологических структур в пространственном размещении различных типов рудных месторождений. Проводившиеся работы служили научной основой для развития во все больших и больших масштабах поисковых и разведочных работ на руды черных, цветных, редких, малых, благородных металлов и другого вида минерального сырья.

Закономерности размещения рудоносных участков в пределах рудных полей, а также рудных тел и обогащенных участков в них в пределах месторождений начали широко выявляться в резуль-

тате изучения структур рудных полей и месторождений. В разработке теоретических основ и методов этого изучения следует отметить исследования А. В. Королева (1936) и В. М. Крейтера (1940), предложивших оригинальные классификации структур месторождений и полей, В. Н. Котляра (1936), детально изучившего структуры жильных медных месторождений, а также А. В. Пэка (1939), опубликовавшего ценные сведения в области трещинной тектоники и микроструктурного анализа.

При решении вопросов генезиса рудных и нерудных эндогенных месторождений важное значение стали приобретать экспериментальные исследования, которые в период предвоенных пятилеток широко начали проводиться на строго научной базе. В этом отношении особый интерес представили эксперименты, поставленные Н. И. Хитаровым и Л. А. Ивановым (1937, 1940), а также Ф. Н. Сыромятниковым (1935), направленные на выяснение природы гидротермальных растворов и условий переноса в них минеральных веществ. Данные экспериментов, а также теоретические представления, высказанные Д. С. Белянкиным (1933), показали, что надкритические газообразные растворы способны переносить вполне ощутимые количества кремнезема, а также олова, молибдена и других металлов.

Весьма интересные наблюдения, свидетельствующие о вязкости рудоносных растворов, были сделаны О. Д. Левицким (1939) в кварц-вольфрамитовых месторождениях. Они позволили прийти к заключению, что на определенной стадии рудообразования отложение руд происходило в гелеобразных массах кремнезема. Вообще следует заметить, что советские исследователи обратили большое внимание на признаки колломорфных образований в рудах гидротермального происхождения.

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В области учения о магматических месторождениях к началу первой пятилетки, как уже отмечалось ранее, основное значение имели теоретические исследования А. Н. Заварицкого по платиновым месторождениям. Положение А. Н. Заварицкого, показавшего, что платина и ассоциирующие с ней хромиты кристаллизовались после силикатов, было подтверждено и развито последующими углубленными исследованиями А. Г. Бетехтина (1935, 1937₂) в области платиновых месторождений, связанных с хромитами, а затем вообще в области хромитовых месторождений. Этот исследователь собранными им материалами хорошо обосновал вывод, что хромиты кристаллизуются из остаточных расплавов дунитов, после остывания главной массы силикатов. При этом часть рудного расплава кристаллизуется на месте его отделения, другая же часть способна переместиться в жидком

виде на некоторое расстояние от места отщепления, где она и кристаллизуется. На примере некоторых платиновых месторождений, связанных с хромитами, А. Г. Бетехтин доказал, что в определенных условиях остаточный расплав, содержащий соединения хрома, может обогатиться летучими и, прежде всего, группой ОН, а также и В. В результате дуниты, вмещающие хромитовые скопления, подвергаются серпентинизации и в них, кроме того, в некоторых случаях проявляются хромгранат, хромхлорит и даже хромтурмалин. Проведенные исследования позволили А. Г. Бетехтину отнести подавляющее большинство хромитовых месторождений, в том числе платиноносные хромиты, к типу гистеромагматических образований, в отличие от акцессорных хромшпинелидов, являющихся протоматматическими (раннемагматическими). Работами В. П. Логинова, Н. В. Павлова и Г. А. Соколова (1940), а также С. А. Кашина, И. И. Малышева и других было выяснено, что наиболее крупные месторождения и рудные поля хромитовых руд приурочены к ультраосновным массивам с отчетливой первичной стратификацией, образующей своды в определенной части массивов. Отдельные месторождения и рудные тела оказываются приуроченными именно к таким сводам, в результате отжатия рудного расплава в замковые части сводов, вызванного действием тектонических деформаций. Выясняя контакты рудных тел с вмещающими породами, Н. В. Павлов показал, что в некоторых случаях хромитовые рудные тела отделяются от вмещающих пород дорудными трещинами, которые определяют прямолинейную форму контактов и вдоль которых произошло внедрение расплавленного рудного материала.

Согласно А. Г. Бетехтину подобные рудные тела перемещаются от первоначального пункта отделения рудной фракции на расстояние до 100 м, редко более, и, как правило, они не достигают пород, вмещающих рудоносную интрузию. Другие же хромитовые рудные тела, хотя и являются позднемагматическими, но они кристаллизовались в тех же пунктах рудоносного массива, в которых произошло отделение рудной фракции. Новый важный материал был собран советскими геологами также по вопросу генезиса титаномагнетитовых магматических месторождений, описанных А. Н. Заварицким (1937) к типу фузивных. А. В. Пэк и И. И. Малышев показали, что месторождения эти делятся на вкрапленные и сплошные жильные, причем вторые образуются в результате внешних динамических воздействий, приводящих к отжиманию рудной фракции, находящейся в междузерновом пространстве, в трещины, образующиеся в закристаллизовавшейся интрузии. Однако отмеченные авторы в то время не обратили должного внимания на явления метаморфизма, которые были установлены более поздними исследованиями.

В период первых двух предвоенных пятилеток были собраны важные материалы и по вопросу генезиса сульфидных медно-ни-



Академик
Анатолий Георгиевич Бетехтин
(1897—1962)

келевых месторождений. В этом отношении большое значение сыграли исследования В. К. Котульского, который показал, что в таких месторождениях следует различать вкрапленные сульфидные руды, приуроченные к определенным горизонтам стратифицированных интрузий основных и ультраосновных пород, и богатые сульфидные рудные тела, имеющие форму жил, либо рудных залежей. В. К. Котульский указал на различие вещественного состава этих типов руд, выражающееся в относительно небольшом распространении пирротина во вкрапленных рудах и резком его преобладании в сплошных. Эта закономерность, как будет показано ниже, была полностью осмыслена только после Великой Отечественной войны и помогла значительно глубже подойти к выяснению генезиса характеризующей группы ликвационных месторождений.

Экспериментальные исследования, проведенные Д. П. Григорьевым (1938), показали ограниченную смесимость полево-

шпат-пироксенового и сульфидного расплавов, образующихся из однородной исходной смеси при плавлении ее в области температур до 1300° С. При этом было установлено, что силикатный и сульфидный расплавы разделяются на два слоя — сульфидный внизу и силикатный наверху. Механизм разделения заключался в образовании эмульсии и последующего опускания пирротина на дно. Частичная растворимость пирротина в силикатах очень мала, растворимость же силикатов в сульфидном расплаве достигала 8—10%. При проведении опытов Д. П. Григорьевым изучались силикатные смеси, приближающиеся к основным горным породам, что придает особо важное значение проведенным исследованиям для теоретических представлений об условиях образования сульфидных медно-никелевых месторождений.

По вопросу генезиса магматических месторождений интересные идеи были высказаны Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом (1937₁), выделявшим среди них: I. Эпигенетически-магматические (аллохтонные, инъекционные): 1) ликвационные (ортоликвационные), 2) эмульсионные. II. Сингенетически-магматические (автохтонные): 1) аккумуляционные (кристаллизационные), 2) ликвационные.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг показал, что проблема генезиса магматогенных месторождений является частью общей проблемы генезиса интрузивных пород, общей проблемы дифференциации. Он подчеркивал, что на известной стадии процесса дифференциации следует считаться с существованием несиликатных магм, в том числе магмы окисной (ферролитовой), магмы сульфидной, а также магмы апатитовой, кварцевой и даже кальцитовой.

Большое научное и практическое значение имело выполненное под руководством А. Е. Ферсмана открытие, изучение и описание А. Н. Лабунцовым, Б. М. Куплетским, А. А. Сауковым, В. И. Герасимовским, О. А. Воробьевой, С. Д. Покровским и др. уникальных редкометальных месторождений на Кольском полуострове, генетически связанных со щелочными интрузиями и в большинстве своем относящихся к собственно магматическим образованиям.

ПЕГМАТИТЫ

В течение рассматриваемого периода значительный интерес представили теоретические обобщения по условиям образования пегматитов. В 1931 г. был опубликован замечательный труд академика А. Е. Ферсмана «Пегматиты», который в дальнейшем был дополнен и вышел вторым изданием в 1940 г. Упомянутое нами ранее первое соображение А. Е. Ферсмана по генезису пегматитов явилось введением к крупным и глубоким обобщениям, изложенным им в упомянутой книге. Согласно А. Е. Ферсману, среди гранитных пегматитов следует различать пегматиты чистой

АКАДЕМИК
А. Е. ФЕРСМАН

ПЕГМАТИТЫ

ТОМ
IГРАНИТНЫЕ
ПЕГМАТИТЫТРЕТЬЕ
ИСПРАВЛЕННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ
ИЗДАНИЕТитульный лист книги А. Е. Ферсмана
«Пегматиты»

линии и линии скрещения. К первым из них относятся пегматиты, внедрившиеся в граниты, либо другие породы (например, гнейсы), имеющие близкий состав с пегматитами.

Ко второй группе относятся пегматиты, внедрившиеся в основные либо ультраосновные породы, т. е. породы резко отличного состава. В этом последнем случае пегматитовый расплав вступает во взаимодействие с вмещающими породами, с образованием реакционных зон на контакте, а сами пегматиты при этом испытывают десилицификацию. Среди пегматитов чистой линии А. Е. Ферсман выделил 10 групп, каждая из которых формируется в определенную фазу развития пегматитов.

1. Обычные церовые пегматиты: а) монацитовые, б) ортитовые, в) гранатовые, г) без особой минерализации. 2. Редких элементов (U, Ti, Nb, Ta, V, Th и др.). 3. Боро-фтористые: а) шерловые, б) мусковитовые. 4. Фторо-бериллиевые: а) бериллиевые, б) топазовые. 5. Натро-литиевые: а) альбитовые (мусковитовые), б) лепидолит-рубелитовые. 6. Литио-фосфатные: а) альбит-эпидотовые, б) фосфатные. 7. Криолитовые: а) альбит-жильбертитовые, б) фосфатно-карбонатные, в) криолитовые. 8. Флюокарбонатные. 9. Сульфидные. 10. Цеолитовые.

Из отмеченных групп лишь первые две представляют собой горные породы, кристаллизующиеся из остаточного расплава и формирующиеся без метасоматических явлений, при сохранении в их составе калиевого полевого шпата и биотита.

Все остальные группы пегматитов подвергаются метасоматическим процессам в связи с воздействием на них остаточных растворов и летучих, входящих в их состав, и они формируются начиная от пневматолитовой стадии и кончая гидротермальной.

Изложенная классификация пегматитов А. Е. Ферсмана, построенная на анализе парагенезиса минералов, входящих в состав пегматитов, с учетом процесса и стадий их формирования,

оказала исключительно большое содействие в деле оценки промышленных перспектив пегматитов в отдельных пегматитовых полях и районах, и в то же время явилась основой для значительно более глубокого понимания общего процесса формирования пегматитов.

В монографии А. Е. Ферсмана (1940) приведен богатейший фактический материал по пегматитам самых разнообразных типов и дана подробная характеристика их строения, состава и морфологических особенностей, которая глубоко научно обосновывает выделенные им группы пегматитов.

Базируясь на учении о пегматитах, созданном А. Е. Ферсманом, советские геологи развивали и углубляли ряд его положений и производили подробное изучение отдельных генетических групп пегматитов. В этом отношении особый интерес представили региональные исследования Д. И. Щербакова, показавшего геологическое положение пегматитовых полей в Туркестанском хребте (Средняя Азия), работа К. А. Власова по каталитической роли фтора при формировании десилицифицированных пегматитов, работа М. Ф. Стрелкина (1938) по оловосодержащим пегматитам и ряд других работ. Собранные М. Ф. Стрелкиным данные полностью подтвердили правильность выделения пятой группы пегматитов А. Е. Ферсмана и показали, что выделение касситерита, берилла и сподумена протекало в условиях интенсивного проявления метасоматических процессов, выразившихся в превращении безводных силикатов и алюмосиликатов в водусодержащие алюмосиликаты. Перенос олова в этих условиях происходил в виде щелочных соединений.

Исследования А. Е. Ферсмана и его учеников привели к углубленному изучению минералогии и геохимии пегматитов, значительно опередив работы зарубежных ученых в этом направлении.

КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Успешными были также исследования, посвященные контактово-метасоматическим месторождениям, связанным со скарнами. Они явились продолжением капитальных работ А. Н. Заварицкого и более ранних работ Е. С. Федорова. Исследования велись в минералогическом, геохимическом и структурно-геологическом направлениях.

Из минералогических исследований особый интерес представляют работы П. П. Пилипенко, Н. А. Смольянинова и их многочисленных учеников. П. П. Пилипенко (1939) выделил среди рудоносных скарнов так называемые сухие скарны, в которых рудные минералы замещают неизменные кальциево-железисто-алюминиевые силикаты, прежде всего гранат и пироксен, и флюидоводные скарны, в которых до рудоотложения имеет место замещение пироксенов и граната актинолитом, тре-

молитом, хлоритом, кварцем и карбонатами, которые, в свою очередь, оказываются замещенными рудными минералами. При этом в первой группе скарновых месторождений преимущественно развиты месторождения магнетита и частью халькопирита, а во второй — свинца, цинка, редких и благородных металлов. Как будет показано ниже, это основное положение П. П. Пилипенко подтвердилось всеми последующими исследованиями.

Н. А. Смольянинов основное внимание уделил изучению минералогии шеелитовых месторождений скарновой формации. Блестящие исследования этого ученого привели не только к углубленному изучению данной рудной формации, но и к открытию ряда промышленных шеелитовых месторождений в ряде районов Средней Азии.

Е. Ф. Зив и В. Д. Тимофеев произвели интересные наблюдения при изучении минералогии шеелитоносных скарнов восточных отрогов Кузнецкого Алатау. Ими были охарактеризованы шеелит и купрошеелит, развитые преимущественно в гранатовом скарне. По данным этих исследователей, главная масса шеелита выделилась в ассоциации с гранатом и широксеном, но этот минерал кристаллизовался также в период формирования кварц-полевошпатовой ассоциации и сульфидной (Глафиринское месторождение). Е. Ф. Зив и В. Д. Тимофеев допускали также возможность выделения шеелита в хлорит-кальцитовый ассоциации и подчеркивали в качестве важного поискового признака широкий временной и температурный диапазон отложения шеелита на площадях распространения гранатовых и гранат-пироксеновых скарнов.

Крайне интересные сведения об оловоносных скарнах Зеравшанского хребта опубликовал И. Г. Магакьян (1941), показавший многостадийность их формирования.

Геохимические исследования медных скарновых месторождений были начаты незадолго до Великой Отечественной войны Д. С. Коржинским, когда он перенес свой опыт изучения метасоматических процессов в метаморфических толщах на скарновые месторождения. Первые же исследования этого ученого, проведенные с учетом роли подвижных и малоподвижных элементов, привели к крайне интересным соображениям о развитии скарнов в условиях так называемого реакционного метасоматоза на контакте двух сред — силикатной и карбонатной. Однако эти соображения вылились в стройную гипотезу уже в послевоенный период, и поэтому мы охарактеризуем их подробнее в соответствующей главе.

По условиям формирования свинцово-цинковых месторождений Тетюхе, связанных со скарнами, важные исследования были проведены И. Ф. Григорьевым (1936). Согласно его представлениям, месторождение Тетюхе сформировалось в гид-

ротермальных условиях. Высокотемпературные растворы, богатые летучими соединениями бора и фтора, поднимались из глубинного магматического очага по зоне разлома. Кварцевые порфиры всяческого бока играли роль относительно мало благоприятной породы для метасоматического замещения скарновыми и рудными минералами. В противовес им известняки лежащего бока легко замещались этими минеральными образованиями. И. Ф. Григорьев подверг критическому рассмотрению представление О. Вейгеля о генетической связи оруденения Тетюхе с основной магмой, дериватом которой является обнажающаяся на поверхности дайка диабазовых порфиритов. Вместе с тем И. Ф. Григорьев пришел к заключению, что этот тип основных магм является дифференциатом кислых гранитных интрузий, относящимся к конечным стадиям застывания. Кроме того, даже самостоятельные крупные интрузии в очень редких случаях являются источником образования крупных гидротермальных месторождений.

Геолого-структурные исследования месторождений, связанных со скарнами, также были начаты незадолго до Великой Отечественной войны на примере изучения шеелитовых месторождений скарновой формации. Среди этих исследований следует прежде всего указать на работы Д. Т. Резвого и, особенно, А. В. Пэка. Д. Т. Резвой на примере изучения шеелитовых месторождений Средней Азии впервые показал, что часто встречаются объекты, относящиеся к типичным складчатым структурам, в которых рудные тела, имеющие пластовую форму, приурочены к контакту сланцев и известняков. Наряду с этим он выделил тип жильных скарновых тел, характеризующихся развитием скарново-шеелитовых жил, переходящих в штокверки, и тип рудных залежей, приуроченных к контактам известняков и гранитоидов. А. В. Пэк, изучавший скарновое шеелит-молибденитовое месторождение Тырны-Ауз на Северном Кавказе, показал, что в структурном отношении оруденение этого месторождения связано с диапировой складкой и рудные тела размещаются вдоль раздробленной зоны на контакте мраморов и роговиков, возникшей в связи с пластическим течением мрамора в направлении снизу вверх.

Большие успехи были получены в области изучения скарново-магнетитовых железорудных месторождений. На Урале крупные исследования проводились в этом направлении П. П. Кузнецовым, В. М. Дервиз и Л. М. Миропольским. На Кавказе под руководством Е. Г. Багратуни проводилось детальное изучение и разведка Дашкесанского месторождения, на базе которого уже в послевоенное время был построен Руставский металлургический завод. Изучение магнетитовых месторождений Горной Шории успешно было проведено К. В. Радугиным, И. В. Дербиковым, И. А. Киселевым и др. В Восточной Сибири было начато

геологическое изучение Ангаро-Илимского железорудного района и были установлены значительные перспективы Рудногорского и Коршуновского месторождений. Условия образования этих месторождений и закономерности их размещения нашли отражение в работе С. С. Смирнова (1933). Он показал, что месторождения Ангаро-Илимского района сформировались в три этапа (стадии), причем отложение минералов скарнов происходило в первый из них, а магнетит в ассоциации с кальцитом кристаллизовались во вторую гидротермальную стадию. С. С. Смирнов пришел к выводу, что оруденение упомянутых месторождений связано общностью глубинного магматического очага основного состава с продуктами траппового магматизма.

На территории Казахской ССР А. К. Конев и др. проводили детальное изучение и разведку магнетитовых месторождений Каркаралинской группы. Все эти исследования и разведочные работы не только привели к выявлению крупной железорудной базы, которая явилась источником рудного сырья для снабжения металлургических заводов во время Великой Отечественной войны и в последующее время, но одновременно они явились важным вкладом в изучение геологии магнетитовых железорудных месторождений и уточнения представлений об условиях их образования.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При изучении гидротермальных месторождений в течение первой пятилетки советские геологи еще пользовались теориями и гипотезами, предложенными иностранными авторами. Однако вскоре стало выясняться, что теория, разработанная на основании фактов, собранных в Рудных горах, Кордильерах, Корнуолле и др., далеко не охватывала всего многообразия месторождений мира, особенно нашей страны. Отсюда вытекала задача критически пересмотреть сложившиеся представления об условиях образования гидротермальных месторождений металлов и неметаллического сырья и на основе новых фактов положить начало созданию новой теории гидротермальных процессов рудообразования.

В этом отношении особое значение имели научные исследования С. С. Смирнова (1937₂). Он подверг критическому анализу известную батолитовую концепцию Эммонса, выдвинувшего понятие о шестнадцати жильных зонах, располагающихся концентрически вокруг рудоносных куполов батолитов.

Важные исследования проводились также в направлении выяснения природы рудоносных растворов, установления генетической связи оруденения с интрузивными породами, объяснения причин первичной зональности оруденения, изучения минерало-

гии и структуры месторождений, установления критериев отличия гидротермальных месторождений от гипергенных, выявления геологических закономерностей пространственного размещения оруденения в отдельных рудных районах и провинциях.

В деле выявления природы рудоносных растворов большое значение имели упоминавшиеся выше экспериментальные исследования Д. С. Белянкина, Н. И. Хитарова, В. Ф. Сыромятникова и Л. И. Иванова. Их исследования показали возможность существования самостоятельной пневматолитовой стадии в период минералообразования, в процессе проявления которой может переноситься заметное количество кремнезема и ряда рудообразующих компонентов, например, молибдена. Вместе с тем ими были получены конкретные цифры, показывающие, что критическая температура минерализованных растворов может быть выше критической температуры воды.

Вопросу генетической связи гидротермального оруденения с интрузивными породами было посвящено много работ, но так же, как и в восстановительный период, вопрос этот все еще решался недостаточно детально, исходя лишь из самых общих позиций, и в большинстве случаев высказывалось соображение о генетической связи гидротермального оруденения с ближайшими выходами батолитов и других интрузивных массивов, близких по возрасту с оруденением. При этом нередко высказывалась мысль о приуроченности оруденения к контракционным трещинам, образованным в связи с остыванием рудоносных массивов. Однако по мере развития геологических исследований такого рода упрощенные представления все более и более отходили на задний план. Многие геологи (С. С. Смирнов, Б. Н. Наследов, А. В. Королев и др.), изучавшие свинцово-цинковые месторождения в различных районах СССР, высказывали мнение о генетической связи оруденения с магматическими очагами, порождавшими малые интрузии гранитоидов. Особый интерес в рассматриваемом вопросе представила работа С. Ф. Машковцева (1937), который анализировал взаимосвязь вулканизма, тектоники и рудообразования. На примере Тянь-Шаня С. Ф. Машковцев показал проявление двух фаз варисского вулканизма, с первой из которых связано внедрение крупных батолитовых массивов, а со второй — малых интрузий и диасхистовых даек. Главное оруденение Тянь-Шаня С. Ф. Машковцев связывал со второй фазой и отметил наличие в рассматриваемом районе скрытого батолита, сателлитами которого явились малые интрузии и дайки. В промежутке между двумя фазами интрузий магматический очаг не умирал, а эволюционировал.

Основными критериями генетической связи оруденения с малыми интрузиями С. Ф. Машковцев считал наличие пространственной приуроченности оруденения к таким интрузиям.

Несколько позднее появились попытки установления и других критериев генетической связи гидротермального оруденения с интрузивными массивами. В частности, И. Г. Магакьян и некоторые другие исследователи большое внимание уделяли минералогическим критериям, доказывающим такую связь. И. Г. Магакьян (1941)¹ доказывает генетическую связь гидротермального оруденения, наложенного на скарны, с массивом сиенитов, на основании выявления в сиенитах флюорита, который в ассоциации с баритом и антимонитом появляется также во вмещающих породах на некотором удалении от этого массива.

Для разрешения этой проблемы в годы перед самой Великой Отечественной войной все больше и больше производилось исследований по изучению минералов тяжелой фракции интрузивных массивов и сравнению их с минералами, входящими в состав гидротермальных жил. Однако обобщение этих данных произошло уже после войны, и мы на этом вопросе остановимся ниже.

Зональность оруденения в гидротермальных месторождениях некоторые отечественные геологи пытались объяснить в соответствии с широко известной схемой Эммонса (1933). По данным этого автора, с удалением от интрузивных массивов более высокотемпературные минеральные ассоциации сменяются более низкотемпературными. То же относится к отдельным рудным жилам, меняющим свой состав от поверхности, где развиты более низкотемпературные минеральные ассоциации, в глубину с постепенным нарастанием высокотемпературных комплексов. Для объяснения явлений зональности Эммонс на первый план выдвигает изменение растворов в пространстве. Рудоносные растворы, двигаясь вверх и в стороны от металлоносного очага, последовательно осаждают минеральные массы по мере того, как они переходят в области все более низких температур и давлений. Зональность при этом в основном обуславливается характером распределения геоизотерм вокруг остывающего интрузива. Сам процесс образования различных зон рассматривается Эммонсом как последовательный эволюционный процесс, отложение же определенных минералов в пространстве следует в порядке, обратном их растворимости.

Схема зональности Эммонса встретила серьезную критику на страницах нашей печати, причем наиболее глубокие замечания были высказаны С. С. Смирновым (1937₂). С. С. Смирнов пришел к выводу, что различные рудные формации, располагающиеся вблизи определенного интрузивного тела, «...произошли не из одних и тех же растворов», как это предполагает Эммонс, а из различных порций растворов, поступавших через те или иные «промежутки времени из металлоносного оча-

¹ См. литературу третьего периода.

га». Таким образом, С. С. Смирнов высказал мнение о прерывистом поступлении растворов из металлоносного очага. По его данным, поступающие из глубин все новые и новые порции существенно различных по составу рудоносных растворов могут просачиваться вдоль одних и тех же трещин, по мере их приоткрывания в связи с тектоническими движениями, либо распространяться по другим трещинам в случае их возникновения в процессе минерализации. В соответствии с этим С. С. Смирнов считал возможным объяснить проявление первичной зональности в ряде гидротермальных месторождений специфическими условиями образования и приоткрывания трещин на рудоносных площадях. Изложенное объяснение С. С. Смирнова первичной зональности в гидротермальных месторождениях нашло подтверждение в последующих исследованиях многих геологов, труды которых уже были опубликованы в послевоенное время.

В период предвоенных пятилеток, когда был развернут широкий фронт поисково-разведочных работ, открытие многих рудных месторождений было бы немыслимо без широкой постановки минералогических исследований. По мере того, как геологические работы охватывали новые районы, широко развивались и минералогические исследования руд, которые непрерывно совершенствовались в связи с использованием ряда новых методик, таких как спектральный анализ, рентгенометрия, люминесцентный анализ, минераграфия и др. В развитии минералогических исследований исключительно большую роль сыграли крупнейшие советские минералоги: А. К. Болдырев, С. С. Смирнов и А. Г. Бетехтин. По учебным руководствам и учебникам, составленным А. К. Болдыревым и под его редакцией коллективом авторов, учились тысячи советских геологов. Огромной известностью среди отечественных геологов пользуются минералогические исследования С. С. Смирнова в области изучения первичных руд и руд зоны гипергенеза.

И. Ф. Григорьеву, А. Г. Бетехтину, Л. В. Радугиной, И. С. Волынскому, С. И. Талдыкину, Ф. Н. Шахову и С. А. Юшко принадлежит заслуга в развитии минераграфических исследований в нашей стране. А. Г. Бетехтин достиг также исключительно больших успехов в решении проблемы парагенетических соотношений минералов в рудах и, в сущности, возглавил новое научное направление в решении этой проблемы, основывающееся на применении физико-химических принципов. При этом большую роль сыграла разработанная А. Г. Бетехтиным (1937₁) классификация структур и текстур руд, а также предложенная им методика изучения строения рудных масс на полированных штуфах.

А. Г. Бетехтин не ограничился детальным изучением формы и возрастных взаимоотношений минералов и минеральных агре-

готов для выяснения различных типов структур руд, а попытался путем построения серии физико-химических диаграмм объяснить генезис большого количества наблюдаемых структур в различных типах руд.

Детально изучая строение руд и устанавливая возрастные соотношения между различными по составу и структуре минеральными агрегатами для выяснения различных типов текстур, А. Г. Бетехтин показал, что широкое разнообразие последних обусловлено сложными процессами рудоотложения, сопровождающегося часто неоднократными наложениями последующих стадий минерализации, фаціальными изменениями и реакциями ранее отложенных масс с остаточными растворами.

Наряду с углублением минералогических исследований руд гидротермальных месторождений, по мере развития геологоразведочных работ, которые нередко приходилось проводить на исключительно сложных по форме и условиям залегания рудных объектах, все более и более совершенствовались структурные исследования месторождений и полей.

Как уже отмечалось, первое обобщение по структурам рудных полей и месторождений было сделано А. В. Королевым, который особое внимание уделил характеристике условий локализации оруденения гидротермальных месторождений, сформировавшихся в однородной и неоднородной средах. В. М. Крейтер среди гидротермальных рудных объектов выделил месторождения, связанные: 1) со складчатыми структурами, 2) с разрывными структурами перемещения, 3) с трещинными структурами и 4) с комбинированными структурами, а также 5) с позднемагматическими структурами интрузивов. Классификация В. М. Крейтера привлекла внимание широких кругов геологов к изучению тектонических элементов в рудных полях и выяснению их роли в локализации оруденения.

Структурные исследования получили широкое развитие, когда в них включились научные сотрудники ИГН АН СССР, геологоразведочных вузов и большие группы рудничных геологов и разведчиков. Неоценимую услугу этим исследованиям оказал А. В. Пэк, написавший уже упоминавшееся ранее руководство по трещинной тектонике и структурному анализу (1939), а также ряд статей по трещинной тектонике Южного Урала, Кольского полуострова и других районов. По исследованию структур жильных гидротермальных месторождений проводились работы Е. Е. Захаровым и Н. И. Королевым (1940), В. Н. Котляром (1936), А. Д. Ершовым (1941) и др.; по исследованию структур гидротермальных месторождений в складках — П. П. Буровым, К. И. Сатпаевым, Ф. И. Вольфсоном; по исследованию структур гидротермальных штокверков и штокверковых зон — А. В. Королевым, С. А. Мовсесяном и др. Во всех этих работах детально исследованы структурные особенности

различных месторождений цветных и редких металлов. В них приводились оригинальные данные по вопросам формы и условий залегания рудных тел и по их структурным особенностям. Но наряду с большой ценностью отмеченных работ, имелись и серьезные недостатки. В них в должной мере не анализировались вопросы развития структур во времени и, соответственно, недостаточно выявлялось место оруденения в общем ходе развития тектоники. В должной мере не учитывалось благоприятное сочетание структурных и литологических факторов в локализации оруденения. Не делалась также попытка установить направление перемещений в процессе минерализации блоков пород, прилегающих к рудоносным разрывам. В связи с этим авторы исследований в большинстве случаев не могли предсказывать места возможного нахождения вдоль рудоносных швов обогащенных участков и рудных столбов.

Тем не менее большой фактический материал, собранный в процессе характеризуемых работ, послужил базой для дальнейшего развития и углубления специальных структурных исследований в процессе изучения геологии эндогенных месторождений, которые проводились многими производственными геологами и научными работниками в годы Великой Отечественной войны и в послевоенный период и которые оказали неоценимую услугу в деле рационального направления геолого-разведочных работ на сложных рудных объектах.

Развивая учение о гидротермальных месторождениях, советские геологи много внимания уделяли выяснению основных критериев отличия низкотемпературных гидротермальных от экзогенных месторождений. По этому вопросу неоднократно на страницах печати появлялись дискуссионные статьи¹.

Среди такого рода работ особый интерес вызвала книга А. Н. Заварицкого (1939), посвященная генезису руд Бакала. В ней убедительно показано, что соображения Д. В. Наливкина и некоторых других геологов об осадочном происхождении сидеритовых руд этого месторождения ошибочны.

Основные аргументы, доказывающие гидротермальное происхождение руд Бакала, по А. Н. Заварицкому, следующие.

1. Развитие гнезд пирита и сидерита в кварцитах всяческого бока.
2. Структурные отношения гипогенных минералов.
3. Развитие оруденения в различных горизонтах и тупое выклинивание рудных тел.
4. Отсутствие магнетита на контакте даек диабазов и сидеритовых руд и хлоритизация диабазов, доказывающие дорудный возраст этих даек.
5. Сохранение в руде основных черт текстуры соседних доломитовых известняков.
6. Нахождение реликтов незамещенных доломитов внутри руды.
7. Сходство Бакала с другими железорудными месторож-

¹ Этот вопрос широко дискутируется и в настоящее время.

дениями, для которых доказан гидротермальный генезис. Эти достаточно веские аргументы, приведенные А. Н. Заварицким в пользу гидротермального происхождения сидеритовых руд Бакала, а также общий высокий уровень теоретических положений, сформулированных им по затронутому вопросу, делают книгу А. Н. Заварицкого «К вопросу о происхождении железных руд Бакала» одной из лучших дискуссионных работ по вопросу генезиса гидротермальных месторождений, пользующейся широкой популярностью среди советских геологов и в настоящее время.

ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Наряду с исключительными успехами в развитии теоретических представлений о гидротермальных месторождениях в целом и разработки новых научных направлений в этой области, советские геологи добились больших успехов в деле изучения геологии и генезиса месторождений отдельных металлов и выявления новых типов месторождений и новых рудных формаций. Именно в этой работе участвовали наиболее крупные коллективы советских геологов Академии наук СССР, ЦНИГРИ (теперь ВСЕГЕИ), НИГРИзолото, геологоразведочных вузов, геологических главков ряда министерств, многочисленные рудничные геологи.

Особо должна быть отмечена работа группы геологов по редким металлам в составе И. И. Чупилина, Н. А. Смольянинова, О. Д. Левицкого, А. Ф. Соседко, А. А. Саукова, В. Э. Пояркова, Ф. В. Чухрова, В. С. Мясникова, М. М. Константинова, О. М. Каминского, Н. В. Нечелюстова, Я. Д. Готмана, Е. А. Радкевич, И. М. Ефименко, Г. И. Осовского, С. С. Иовчева, Н. А. Хрущева, Б. М. Косова, Л. И. Лукина, В. А. Калюжного, Б. Л. Флерова, М. В. Полякова, И. Н. Зубрева, В. Т. Матвеевко, С. Г. Галабурда, М. В. Бесовой, Т. В. Будкевича, С. С. Мкртчяна, Г. Л. Тогоидзе, К. И. Чичинадзе, Н. К. Нефедова, Д. Я. Суражского, А. Г. Ивашинцева, И. М. Ефименко, А. Д. Каленова, Е. Н. Федорова, Б. Л. Баскина и др. Организаторами и научными руководителями, направлявшими работу по созданию минерально-сырьевой базы редких металлов, были Д. И. Щербаков, И. Ф. Григорьев и С. С. Смирнов. В результате геологических исследований и геологоразведочных работ за короткий срок в нашей стране была создана сырьевая база олова, вольфрама, молибдена, ниобия, редких земель и ряда других металлов.

Одновременно с развитием геологоразведочных работ на редкие металлы широко развернулись и научные исследования по детальному изучению их геохимических и геологических особенностей. Огромное значение имели труды В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана по геохимии различных элементов, а также

исследования К. А. Ненадкевича, Д. И. Щербакова, В. В. Щербины и др. Большой интерес представляет первая обобщающая работа по индию и другим эндокриптным элементам, выполненная С. А. Боровиком, Н. И. Влодавцем, Н. В. Лизуновым и Н. М. Прокопенко в 1940 г.

В области теоретических исследований по геологии вольфрамовых месторождений важное значение имели работы О. Д. Левицкого. Среди этих месторождений он выделил кварц-топаз-вольфрамитовые, кварц-плевешпат-вольфрамитовые, собственно кварц-вольфрамитовые и указал на возможность концентрации вольфрама и в среднетемпературных месторождениях. В дальнейшем исследованиями других геологов были выявлены сульфидно-гюбнеритовые и карбонатно-гюбнеритовые месторождения, а также ферберит-антимонитовые.

Большой интерес представляли исследования скарново-шеелитовых и молибденитовых месторождений Н. А. Смольянинова, А. В. Пэка и др.

Очень плодотворно развивались исследования оловорудных месторождений кварц-касситеритового типа и особенно сульфидно-касситеритового. Последний был установлен и выдвинут в промышленное освоение в качестве важнейшего промышленного типа С. С. Смирновым.

Особо ценные сведения были получены в результате изучения и разведки свинцово-цинковых месторождений, проводившихся большой группой геологов под руководством И. Ф. Григорьева, В. М. Крейтера и др. в различных районах СССР.

Новые данные по геологии высокотемпературных месторождений, связанных со скариями, были опубликованы И. Ф. Григорьевым, В. С. Булыго, И. В. Дюгаевым, В. И. Смирновым и др. Широким исследованиям были подвергнуты средне- и низкотемпературные полиметаллические месторождения, залегающие в известняках. Они детально изучались С. С. Смирновым, В. М. Крейтером, Б. Н. Наследовым, А. В. Королевым, М. П. Русаковым, И. И. Князевым, Н. А. Брызгаловым, Ф. И. Вольфсоном и др. Месторождения в туфах и сланцах исследовались И. Ф. Григорьевым, В. К. Котульским, Г. Л. Падалкой, С. М. Глебовым, П. П. Буровым, Н. Н. Куреком, А. А. Амираслановым, Г. С. Лазинским, А. И. Семеновым, А. К. Каюповым, С. В. Константиновым, С. Г. Анкеновичем и др.

В известной монографии С. С. Смирнова (1933) и в работе В. М. Крейтера (1931) подробно освещено геологическое строение свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья, среди которых особо важное значение имеют среднетемпературные метасоматические месторождения в известняках.

И. Ф. Григорьев и С. М. Глебов (1934, 1936) впервые подробно описали полиметаллические месторождения Рудного Алтая с характерными для этого района седловидными и пластообразными

ми рудными телами в туфо-сланцевых образованиях. Г. Л. Падалкой (1929) были изучены и описаны некоторые месторождения Алтая и Центрального Казахстана, И. П. Новохатским (1932), Н. А. Брызгаловым (1932) — Южного Казахстана и частью Карамазара, Б. Н. Наследовым (1935) и А. В. Королевым охарактеризованы свинцово-цинковые и другие месторождения Карамазара, И. С. Яговкиным и М. П. Русаковым — свинцово-цинковые месторождения Центрального Казахстана. Углубленное изучение минералогии свинцово-цинковых руд наиболее важных месторождений Карамазара было выполнено Ю. А. Араповым. Свинцово-цинково-мышьяковые месторождения Карамазара, а также месторождения цветных, редких металлов и флюорита восточной части Кураминского и южного склона Чаткальского хребта нашли отражение в работах Ф. И. Вольфсона (1935, 1936, 1937). Жильные свинцово-цинковые месторождения Карамазара описаны Г. Д. Ажгиреем, В. Г. Соловьевым и Б. К. Брешенковым. В. М. Крейтер и В. И. Смирнов (1937) опубликовали обобщение по свинцово-цинковым месторождениям Средней Азии в целом. Свинцово-цинковые месторождения Северного Кавказа изучались К. Л. Пожарицким, Е. Е. Захаровым, Н. К. Скаковским, В. А. Медведюком, В. Н. Рудневым, С. С. Талдыкиным, А. Д. Масленниковым и др.

Большой интерес вызвали исследования В. М. Крейтера (1935, 1936) низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений в известняках Каратау и Абхазии, которые им были отнесены к типу месторождений Миссисипи-Миссури в США. Важный вклад в изучение низкотемпературных полиметаллических месторождений внесли также И. И. Князев, Н. А. Брызгалов, Г. С. Лабазин и др.

Главнейшие типы мышьяковых месторождений охарактеризовал И. И. Чупилин (1937).

Среди медных месторождений были впервые открыты и приобрели важное практическое значение прожилково-вкрапленные месторождения типа Коунрада, детальные исследования которых проводили М. П. Русаков, Н. Г. Кассин, С. Ф. Машковцев, А. В. Королев, Н. И. Наконник, Р. А. Борукаев, В. Г. Грушевой, А. В. Пуркин, М. Ф. Зенин, В. М. Крейтер, С. С. Мкртчян, С. А. Мовсесян и др. Медно-колчеданные месторождения изучались А. А. Амираслановым, Е. Е. Захаровым, П. М. Замятиным, Е. А. Кузнецовым, Ф. И. Ковалевым, М. И. Меркуловым, Д. К. Сусловым, В. В. Щербаковым, К. П. Коршуновым, В. А. Перваго, С. Н. Ивановым, М. П. Ложечкиным и др. Были открыты новые типы этих месторождений, залегающих в нерассланцованных эффузивах и имеющих форму штоков. Согласно данным перечисленных исследователей, колчеданные месторождения восточного склона Урала представляют собой типичные гидротермально-метасоматические образования, генетически

связанные с глубинными дифференциатами плагиогранитов. Однако открытие и разведка Блявинского медно-колчеданного месторождения, залегающего в форме штока среди нерассланцованных эффузивов на контакте диабазов и кератофилов, послужили поводом А. Н. Заварицкому (1936) высказать суждение о необходимости пересмотра сложившихся представлений об условиях образования медно-колчеданных месторождений. Согласно новым взглядам А. Н. Заварицкого, медно-колчеданные месторождения, залегающие среди эффузивных толщ, представляют собой гидротермально-метасоматические образования, генетически связанные с субвулканическими интрузиями, развитыми в этих же толщах. Такие месторождения до их метаморфизма имеют штокообразную форму и характеризуются развитием, наряду с пиритом, сфалеритом и халькопиритом, также мельниковита и вюртцита. Особенностью этих месторождений является, кроме того, метаколлоидная структура и колломорфная текстура руд. Медно-колчеданные месторождения, залегающие среди рассланцованных эффузивов восточного склона Урала, подвергнуты глубоко метаморфизму, приведшему к превращению штоков в линзы и к возникновению полосчатых текстур руд.

В. Н. Котляр (1938) провел детальные исследования по выяснению структурных особенностей Зангезурского жильного медного месторождения и показал, что рудоносные трещины возникают в породах юрской толщи, благоприятных по своему литологическому составу. Важные успехи были получены в результате изучения медистых песчаников Джекказгана И. С. Яговкиным, П. М. Никитиным, а также К. И. Сатпаевым (1932), которые собрали новые данные, указывающие на гидротермальный генезис этого месторождения, и показали роль тектоники и литологии вмещающих толщ в рудообразовании.

Широкие исследования были проведены по изучению коренных месторождений золота различных генетических типов. Было открыто Балейское золоторудное месторождение в Восточном Забайкалье, залегающее в каолинизированных гранитоидах и вдоль контакта их с верхнеюрскими конгломератами, с характерной для этого месторождения ассоциацией низкотемпературного, так называемого зеленого золота с пираргиритом, халцедоном и кальцитом. Много интересных данных было собрано также по гидротермальным золоторудным месторождениям различных генетических типов Урала, Западной Сибири, Восточного Забайкалья, Колымы и других районов, и по коренным месторождениям золота Центрального Казахстана, связанным с сульфидами, изучавшихся В. Н. Зверевым, Ю. А. Билибиным, Н. Н. Горностаевым, В. А. Цареградским, Б. Н. Ерофеевым, Е. Т. Шаталовым, Д. В. Казанли, В. И. Серпуховым, Д. В. Вознесенским, И. Е. Драбкиным, В. К. Моничем, М. И. Конычевым, А. А. Ивановым, Д. Д. Зенковым, И. С. Рожковым, И. В. Ленных,

М. П. Просняковым, Н. И. Бородаевским, П. К. Кутюхиным, Т. П. Волоровичем, М. Н. Альбовым, А. П. Смолиным, Н. В. Петровской, Г. В. Фоссом, Д. А. Тимофеевским, Б. П. Некрасовым, Ф. В. Чухровым, И. С. Яговкиным и другими геологами.

Немало нового было получено и по многим другим типам рудных месторождений. Важно отметить, что при изучении состава руд все больше и больше стали уделять внимания распространению в них редких и малых металлов.

Интересные исследования были проведены Д. И. Щербаковым, А. А. Сауковым, В. Э. Поярковым на антимонитовых и кинноварно-антимонитовых месторождениях Южной Ферганы. При этом было окончательно подтверждено, что все эти месторождения находятся в пределах единого сурьмяно-ртутного пояса. Оруденение на всех изученных месторождениях развивается в ороговикованных брекчиях на контакте известняков и перекрывающих сланцев. Рудные тела, имея в общем пластовую форму, локализируются в связи с развитием как послойных, так и секущих разрывных нарушений.

Исследованиями Е. Е. Захарова и Н. И. Королева (1936, 1940) на Никитовском ртутном месторождении было также установлено, что оруденение, развитое в благоприятном горизонте песчаников в виде тонких жилков и рассеянной вкрапленности, контролируется так называемыми секущими и ведущими разрывными нарушениями.

Не останавливаясь на рассмотрении ряда других работ, посвященных геологии эндогенных месторождений различных металлов, перейдем к краткой характеристике главнейших исследований в области эндогенных неметаллических ископаемых.

ЭНДОГЕННЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Исключительно важные теоретические и практические выводы были получены в результате детального изучения Хибинского апатитового месторождения, проведенного его первооткрывателями — А. Е. Ферсманом и А. Н. Лабунцевым, а также Б. М. Куплетским, Э. М. Бонштедт, Л. Б. Антоновым, М. П. Фивегом, Н. А. Елисеевым и др. А. Е. Ферсман (1934) высказал предположение, что апатиты представляют собой один из дифференциатов щелочной магмы, застывшей в виде конического тела, в пределах которого может быть намечен ряд своеобразных геохимических дуг, одна из которых представлена апатитовым рудным телом. Н. А. Елисеев попытался объяснить наблюдаемое коническое строение щелочного массива, развившегося в шесть последовательных циклов, опусканием центральной части остывающего массива, вызвавшего появление кольцевых разломов, последовательно заполнявшихся магматическими продуктами и в том числе апатит-нефелиновой породой.

Крупные теоретические исследования были проведены в области изучения условий образования эндогенных неметаллических месторождений. В этом отношении прежде всего следует остановиться на работах Д. С. Коржинского (1936, 1937, 1940) по изучению метаморфических горных пород и связанных с ними флогопитовых и других месторождений неметаллических полезных ископаемых. На основе положений физической химии и термодинамики Д. С. Коржинский осветил многие вопросы минералообразования в метаморфических толщах и создал основу для парагенетического анализа минеральных ассоциаций, возникающих в этих породах в зависимости от глубины, на которой протекают процессы метаморфизма. Развивая теорию о подвижности компонентов при процессах минералообразования, он рассмотрел роль воды в этих процессах, режим углекислоты и кислорода в различных термодинамических условиях в земной коре и ряд других вопросов, имеющих отношение к образованию месторождений полезных ископаемых. Особенно большое научное и практическое значение имела разработанная Д. С. Коржинским теория формирования флогопитовых, тальковых и других месторождений. В частности, открытие крупнейшей в мире Алданской флогопитоносной провинции, насчитывающей в настоящее время более 100 месторождений, обязано научным прогнозам Д. С. Коржинского.

Месторождения флогопита, связанные с древними метаморфизованными магнезиально-карбонатными комплексами, помимо Алдана, известны также в Слюдянском районе (южная часть Прибайкалья) и в юго-западной части Памира. Ценные данные о геологическом строении этих месторождений были также опубликованы С. И. Клунниковым и А. И. Поповым, П. В. Калинин, А. И. Сулоевым, Н. В. Фроловой и Н. Ф. Клетовкиной и др.

По вопросу об образовании Мамских слюдяных месторождений важная работа была опубликована Д. Т. Мишаревым и А. С. Амеландовым (1928).

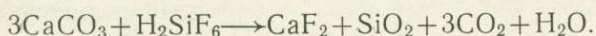
Общие вопросы изучения неметаллических полезных ископаемых и их классификация по областям применения различных видов минерального сырья были впервые разработаны П. М. Татариновым. Им же были изучены условия образования хризотил-асбестов (Татаринов, 1932) и показано, что они образуются в результате воздействия на серпентиниты растворов, связанных с кислыми интрузиями и проникающих к месту формирования хризотил-асбестов по разрывным нарушениям в телах гипербазитов. Этот вывод в дальнейшем был подтвержден Б. Я. Меренковым, Н. Д. Соболевым, В. Ф. Дыбковым, В. Р. Артемовым, В. П. Еремеевым и др.

И. А. Шапиро (1941) охарактеризовал графитовые месторождения и выделил среди них три генетических типа: 1) магматические, 2) жильные гидротермальные, 3) метаморфогенные.

К началу Великой Отечественной войны в нашей стране были выявлены крупные месторождения чешуйчатого и скрытокристаллического графита на Украине, Урале и в различных районах Сибири. Общая характеристика всех этих месторождений была дана в работе И. В. Дубыны (1939).

Н. И. Наковник (1938), М. П. Русаков, К. Н. Озеров и др. проводили широкие исследования алунитовых, диаспоровых, андалузитовых, корундовых и других типов вторичных кварцитов Центрального Казахстана, которые Н. И. Наковник разделил по преобладанию высокоглиноземистых минералов. Согласно его представлениям вторичные кварциты образуются в близповерхностных условиях в результате воздействия на эффузивные и частью интрузивные породы кислых растворов, приводящих к возникновению метасоматической зональности.

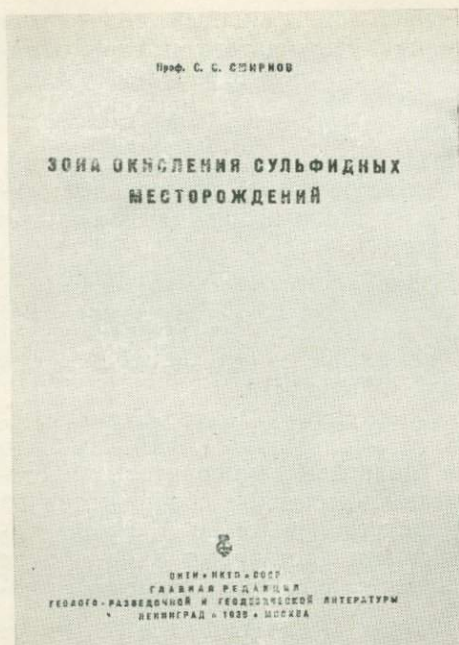
Выяснением условий образования флюоритовых месторождений Средней Азии занимался Н. А. Смольянинов (1935). Им было изучено геологическое строение главнейших флюоритовых месторождений Тянь-Шаня и высказаны интересные соображения об условиях переноса фтора. По представлениям Н. А. Смольянинова фтор переносится рудоносными растворами либо в виде SiF_4 , либо в виде H_2SiF_6 . Отложение флюорита протекает примерно по следующей схеме:



ЭКЗОГЕННЫЕ И МЕТАМОРФОГЕННЫЕ РУДНЫЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Наряду с крупными достижениями в области изучения эндогенных месторождений значительные успехи были получены при исследовании минеральных образований, возникших в результате экзогенных процессов. В этом отношении прежде всего должна быть отмечена исключительно содержательная монография С. С. Смирнова (1936₂), посвященная вопросам окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений. Эта монография явилась результатом многолетних личных исследований автора и обобщения огромного материала, собранного советскими геологами по минералогии и геохимии зоны гипергенеза разнообразных сульфидных месторождений. Поскольку для поисков руд многих металлов необходимо уметь правильно оценивать состав коренных руд месторождений по их выходам на дневную поверхность, нетрудно представить, какое значение рассматриваемая работа С. С. Смирнова имела для поисково-разведочных работ.

Крупные исследования проводились по изучению месторождений, связанных с корой выветривания Урала. В 1928 г. новые никелевые месторождения были обнаружены на Южном Урале



Титульный лист книги С. С. Смирнова «Зона окисления сульфидных месторождений»

(Халилово), а затем в течение следующего десятилетия были открыты важные в промышленном отношении месторождения на территории современной Оренбургской области и прилегающих к ней частей Казахстана. На этих месторождениях широко развернулись поисково-разведочные работы и был собран богатый фактический материал, позволивший сделать ряд новых теоретических обобщений А. А. Глазковскому, А. А. Смирнову и Д. Г. Ульянову.

Д. Г. Ульянов (1937) с сотрудниками разделил никелевые месторождения силикатных руд на три типа: 1) покровные месторождения, представляющие собой плащ элювиально-глинистых продуктов выветривания,

2) трещинные (инфильтрационные), развившиеся в зонах разрывных нарушений в результате циркуляции растворов сверху вниз, 3) контактовые, в которых руды образовались на контакте серпентинитов и известняков. Было показано большое значение инфильтрационных процессов в формировании месторождений силикатных никелевых руд.

Значительное внимание было уделено изучению никелевых и кобальтсодержащих минералов (Г. С. Грицаенко, Г. А. Крутов).

Детальное изучение всех трех упомянутых типов месторождений силикатных никелевых руд проводилось также И. И. Гинзбургом (1938) и его сотрудниками. Ими были получены важные новые данные по условиям развития месторождений на контакте серпентинитов и известняков, что привело к установлению слепых рудных залежей в подземных карстовых пустотах. Эти исследования в которых, кроме И. И. Гинзбурга, принимали участие И. И. Савельев, И. З. Корин, А. В. Кац и др., сопровождались экспериментальным воспроизведением условий формирования силикатных никелевых руд, проводившимся А. И. Пономаревым. Он установил, что соединения никеля коагулируют с

силикатом натрия в пределах рН от 6,5 до 10, причем $\text{NiO} : \text{SiO}_2$ равно от 1,46 : 1 до 1,2 : 1. В случае прибавления HCl это отношение меняется в сторону увеличения SiO_2 . Полученные результаты хорошо объясняют имеющиеся колебания в составе никелевых силикатов в различных месторождениях.

Новые важные данные были получены в результате глубоких исследований, направленных на выяснение условий образования осадочных руд железа, марганца, алюминия. Широко развернулись геологическое изучение и разведка Каменско-Синарских (Б. П. Кротов, М. Л. Скобников и др.), Алапаевских (Л. К. Красников, Б. П. Кротов и др.) и Зигазино-Комаровских (М. Н. Доброхотов и др.) железорудных месторождений. Результаты этих исследований нашли отражение в опубликованных работах Б. П. Кротова (1931, 1936).

Для развития железорудной промышленности Урала важное значение имели выявление и разведка Халиловской группы месторождений природно легированных бурых железняков, на базе которых был построен Орско-Халиловский металлургический комбинат. Проведенное Б. П. Кротовым¹ с группой сотрудников детальное изучение руд этих месторождений явилось первым углубленным исследованием легированных железных руд с повышенным содержанием хрома и никеля.

В изучение условий образования осадочных железных руд большой вклад внесли Б. П. Кротов, Н. М. Страхов, Л. В. Пустовалов и др. Этому способствовали комплексные исследования стратиграфии, геологической структуры, минерального состава и фациальных условий образования руд осадочных месторождений, а также выяснение связи процессов рудообразования с региональными тектоническими явлениями и с изменениями в связи с этим физико-химических условий отложения осадков.

Б. П. Кротов экзогенные железорудные месторождения Урала разделил на три генетических типа: 1) коры выветривания серпентинитов, 2) осадочных гидрогетит-хлоритовых руд, 3) инфильтрационных месторождений Алапаевского типа. Было показано, что на серпентинитах развиты бурые железняки, представляющие собой образования, связанные с зоной цементации коры выветривания.

В деле выявления геологических условий образования осадочных руд железа среди большого числа работ исключительный интерес представили теоретические обобщения Н. М. Страхова (1937, 1940, 1941). Согласно этому исследователю, области, в которых происходит формирование осадочных руд железа, в тектоническом отношении могут быть разделены на геосинклинальные, предшествующей складчатости и платформенные. Количе-

¹ За эти работы были удостоены Государственной премии Б. П. Кротов, М. И. Калганов и А. Л. Яницкий.

ство железных руд, формирующихся в геосинклинальных условиях, резко преобладает над количеством руд в областях предшествующей складчатости и на платформах.

По Н. М. Страхову, осадочные месторождения морского происхождения, среди которых резко преобладают руды гематит-лептохлоритового типа, образуются в своей главной массе в геосинклинальных областях. На платформах и в областях предшествующей складчатости преимущественно формируются озерно-болотные руды. Руды, связанные с корой выветривания, обычно концентрируются в областях предшествующей складчатости.

Сравнивая железные руды разных типов, накапливавшиеся в различные геологические эпохи, Н. М. Страхов показал, что в докембрийское время резко преобладали руды, формирующиеся в геосинклинальных областях. В период между каледонской и альпийской складчатостью осадочные руды железа формировались как в геосинклиналях, так и на платформах и в областях предшествующей складчатости. В альпийскую эпоху практически не возникало руд в геосинклиналях, а все основные массы железных руд возникли на платформах и в областях предшествующей складчатости.

Интересные положения, кроме того, были высказаны Н. М. Страховым по вопросу о влиянии состава пород субстрата на состав руд осадочного происхождения и о факторах локализации морских осадочных железных руд. Н. М. Страхов в противовес сложившемуся ранее представлению о переносе железа крупными речными артериями высказал мысль о переносе железа преимущественно ручьями. Руды эти образуются, по его данным, в тех частях морского бассейна, которые обладали островным характером, сильно расчлененной береговой линией и не примыкали к обширным равнинам. Эти положения были детально разработаны Н. М. Страховым уже в послевоенный период, и мы на них остановимся позднее, в соответствующей главе.

Большой интерес представили также исследования Л. В. Пустовалова на Липецком и Тульском осадочных месторождениях бурых железняков, на которых был проведен большой объем разведочных работ, не подтвердивший ранее предполагавшееся сплошное распространение рудоносных пластов. Учитывая данные разведочных работ и специальных исследований, Л. В. Пустовалов обосновал гипотезу озерно-болотного происхождения руд, хорошо объяснявшую их локальное развитие и сложные контуры рудных залежей. Вместе с тем Л. В. Пустовалов проанализировал ряд общетеоретических вопросов по условиям образования осадочных месторождений.

Новые данные были получены советскими геологами в области изучения осадочных месторождений марганцевых руд. Впервые за 50-летний период эксплуатации А. Г. Бетехтиным было подвергнуто систематическому изучению Чиатурское ме-

сторожение. В результате этих исследований А. Г. Бетехтин (1937) разработал новую теорию образования осадочных месторождений марганца. Им было показано, что марганценозные отложения образовались в прибрежной мелководной части морского бассейна, в тесной ассоциации с опоквидными опалохальцедоновыми или опало-глинистыми коллоидными осадками. При этом в самих марганценозных отложениях установлены определенные закономерности фациальных изменений, выражающиеся в том, что прибрежные осадки наиболее богатых кислородом соединений марганца (фашия высококачественных первичных пиролюзитовых руд) по мере удаления от береговой линии, т. е. по мере углубления дна бассейна, постепенно сменяются соединениями марганца низших валентностей (фашии манганитовых, затем карбонатных руд марганца). Параллельно с этим закономерно возрастает содержание Са, Mg, S и P. Минералогическое изучение структурно-текстурных особенностей руд дало возможность А. Г. Бетехтину показать, что скопления марганцевых соединений представляют собой продукты коагуляции коллоидальных растворов. Коагулянты соединений марганца, осевшие на небольших глубинах, где они находились в сфере активного действия кислорода, в процессе осаждения давали окисные соединения марганца (пиролюзит, манганит, в зависимости от кислородного режима в придонной области). На более глубоких участках в условиях недостатка кислорода, восстановительного действия разлагавшихся органических веществ и сероводородного брожения за счет осевших марганцовистых коагулятов образовывались карбонаты в ассоциации с сульфидами.

Установленные А. Г. Бетехтиным закономерности фациальных изменений марганценозных осадков сыграли важную роль в успехах поисково-разведочных работ на богатые марганцевые руды.

Не меньшие успехи были достигнуты советскими геологами в деле изучения условий образования бокситовых месторождений. В начале первой предвоенной пятилетки наиболее популярной была теория образования бокситовых месторождений, согласно которой эти месторождения возникают в континентальных условиях в процессе сложного химического выветривания горных пород. А. Д. Архангельским (1933) была выдвинута новая гипотеза морского осадочного происхождения бокситовых руд в геосинклинальных и платформенных условиях. Эта гипотеза была построена на основе того, что 1) анализы многих проб вод показали в них содержание алюминия больше, чем содержание железа, 2) бокситы залегают в форме пластов, в кровле которых нередко наблюдается переслаивание пропластков бокситов с осадочными породами, содержащими морскую фауну, 3) бокситы содержат в своем составе лептохлориты, являю-

щиеся типичными морскими осадками. А. Д. Архангельский подчеркивал, что бокситы морского происхождения отличаются выдержанностью рудоносных слоев и высоким качеством руды. Они приурочиваются к строго определенным стратиграфическим горизонтам, и для эффективного проведения их поисков требуется столь же углубленное изучение стратиграфии и палеонтологии толщ осадочных пород, среди которых они залегают, какое необходимо при изучении фосфоритов и нефти.

А. Д. Архангельский выделял также бокситы осадочного происхождения озерного типа, которые получили распространение среди континентальных угленосных отложений каменноугольного или юрского времени. Эти месторождения, по его данным, формировались в тех районах, где развиты были древние изверженные породы или кристаллические сланцы, которые являлись источником алюминия. Он указывал перспективные районы для нахождения подобных месторождений на территории восточного склона Урала и Казахстана.

Е. В. Рожковой (1938) удалось экспериментально доказать возможность осаждения в морской воде бокситов, обладающих бобовыми структурами.

Правильность гипотезы А. Д. Архангельского и его прогнозы были подтверждены практикой поисковых работ. Поиски, направленные с учетом этой гипотезы, привели к открытию промышленных месторождений на Южном Урале, в Центральном Казахстане и на Салаире. Однако к 1937 г. были высказаны новые интересные соображения по условиям образования бокситов, среди которых особый интерес представляют гипотезы С. Ф. Малявкина.

С. Ф. Малявкин на основании детального изучения тихвинских бокситов, имеющих тонкодисперсное состояние, высказал гипотезу коллоидного переноса бокситового материала. Он пришел к выводу, что эти дисперсные бокситы привнесены водой. Источником бокситового материала С. Ф. Малявкин считал кору выветривания, развитую на магматических породах Приладожского района. По его мнению, девонские глины, которые обнажаются на дневной поверхности, являлись благоприятными для образования латеритов. С. Ф. Малявкин полностью не отрицал возможность химического переноса глинозема, но основную роль он отводил механическому переносу в виде тонких суспензий на весьма значительные расстояния (для Тихвинского месторождения — 150—200 км). Как будет показано ниже, возможность переноса бокситов на такие огромные расстояния в настоящее время оспаривается. Однако ряд других идей С. Ф. Малявкина полностью подтвердился. К ним, в частности, относится представление о существовании глиноземных латеритов, об осадочном происхождении отечественных и средиземноморских бокситов. Многие современные исследователи придер-

живаются взгляда С. Ф. Малявкина, что мезозойские бокситы Приуралья являются не химическими, а переотложенными образованиями, и т. д.

Значительные успехи были достигнуты в изучении условий образования фосфоритов. Представления о геологическом строении платформенных фосфоритоносных районов существенно уточнились в связи с работами Б. М. Гиммельфарба и Н. И. Лодяной в районах Актюбинской области, а также А. А. Четыркиной и А. А. Шугина в Вятско-Камском районе.

В 1935 г. геологом И. И. Мошкара были открыты впервые в СССР пластовые фосфориты в хребте Каратау в Казахстане, характеризующиеся высоким содержанием P_2O_5 и большой мощностью пластов.

В выяснении вопроса генезиса фосфоритов большое значение имели исследования А. В. Казакова (1937, 1939) и разработанная им новая хемогенная теория образования фосфоритов. Им же было предложено понятие «фосфоритовая фация». Было показано, что фосфориты повсюду приурочены к полосе шельфа к основанию трансгрессивных отложений. Фосфоритовые фации секут стратиграфические границы по мере наступления моря, что свидетельствует об их образовании за счет гибели организмов. Особенно наглядно это видно в восточной части Русской платформы, в юрских отложениях. Встречаются фосфориты чаще всего среди кремнисто-карбонатных осадков. Образуются они в бассейнах с нормальной соленостью и не возникают в бассейнах с повышенной соленостью или зараженных сероводородом. А. В. Казаков произвел важные экспериментальные исследования, изучая равновесие в системе: $CaO-P_2O_5-HF-H_2O$. Им было установлено, что в бассейнах нормальной солености фтор-апатит может выпадать в осадок при насыщении раствора фосфором около 1 мг/м^3 . Кристаллизация апатита происходит в прямой зависимости от парциального давления углекислого газа, растворенного в воде. Сопоставляя данные, полученные в результате наблюдений за условиями залегания фосфоритов в природных условиях, с результатами экспериментальных исследований, А. В. Казаков пришел к выводу, что фосфориты могут возникать только при развитии в зоне шельфа глубоководных течений, несущих фосфор, в связи с уменьшением в этой зоне парциального давления углекислого газа до $1-2 \cdot 10^{-4} \text{ атм}$. На глубинах, превышающих 500 м, парциальное давление углекислого газа составляет $10-20 \cdot 10^{-4} \text{ атм}$, и в этих условиях фосфор удерживается в растворе и не выпадает.

Хемогенная теория образования фосфоритов А. В. Казакова приобрела исключительно важное значение для рационального ведения поисково-разведочных работ на агрономические руды.

Очень большое значение имели также теоретические исследе-

дования Н. С. Курнакова (1935), учитывающие новые данные, полученные при изучении геологии самосадочных солей Кара-Богаз-Гола и нового месторождения калийных солей—Соликамского. До исследований Н. С. Курнакова порядок кристаллизации солей принимался по Вант-Гоффу, предложившему следующий ряд: 1) карбонаты кальция и магния, 2) гипс, 3) ангидрид, 4) сульфаты натрия и магния, 5) сульфаты калия и магния, 6) хлориды калия и магния, 7) бишофит. Эта схема соответствовала наблюдавшемуся чередованию солей в Страсбургском месторождении, но она не соответствовала чередованию солей на Соликамском месторождении. Н. С. Курнаков установил, что схема Вант-Гоффа кристаллизации солей не является единственной и она характерна лишь для нормальных морских бассейнов. Кристаллизация может идти по разным путям и зависит от многих причин и в первую очередь от исходного состава растворов.

Для отличия состава любого солевого раствора от состава нормального раствора воды Н. С. Курнаков ввел понятие о коэффициенте метаморфизации:

$$K_m = \frac{MgSO_4}{MgCl_2}.$$

Исходя из химического состава растворов, рассолов и рап, Н. С. Курнаков разделил их на несколько классов.

I. Нормальные морские воды с коэффициентом метаморфизации 0,43. Кристаллизация солей из этих вод примерно соответствует схеме Вант-Гоффа.

II. Воды бассейнов, отличающиеся относительно малым содержанием сульфатов, с коэффициентом метаморфизации, равным 0. Порядок кристаллизации солей из этих вод следующий: 1) гипс, 2) галит, 3) сильвин, 4) карнолит, 5) бишофит. Схема соответствует наблюдающемуся порядку залегания солей в Соликамском бассейне.

III. Воды бассейнов, отличающиеся высоким содержанием сульфатов с коэффициентом метаморфизации $\gg 1$, вплоть до бесконечности. Порядок кристаллизации (Кара-Богаз-Гол): 1) мирабилит; 2) галит.

В Кара-Богаз-Голе в 1929 г. был построен комбинат для получения сульфата натрия. Испарение воды, поступающей из Каспийского моря (15—18 км³), приводило к концентрации солей до 20%, и зимой в заливе выпадал в большом количестве мирабилит. Однако концентрация солей постепенно повышалась и с 16,4% в 1897 г. достигла 26,5% в 1937 г. В этом же году было получено известие, что вместо мирабилита выпал галит, осаждение которого начинается при концентрации солей 25%. Пользуясь данными Н. С. Курнакова, было предсказано, что в 1939 г. на всей площади залива начнет выпадать галит. Прог-

ноз полностью оправдался, и для дальнейшего получения мирабилита потребовалось строительство насосной станции, с помощью которой начата перекачка каспийской воды в залив для снижения концентрации солей. Таким образом, теоретические исследования Н. С. Курнакова не только дали возможность выявить условия образования ископаемых солей, но и оказали прямую помощь в управлении современным промышленным соленаккумулятором.

В вопросе об условиях образования Верхнекамского месторождения калийных солей важное значение имели исследования А. Е. Рыковского и Л. В. Морачевского. Они выяснили вопрос о причинах развития на этом месторождении бессульфатных солей, сложенных сильвином и карналлитом. Согласно данным этих исследователей, калийные соли бессульфатных месторождений кристаллизовались не из концентрированной морской воды нормального состава, а из метаморфизованного соляного раствора, почти лишенного сульфатного иона.

Широко развернувшимся поисковым и геологоразведочным работам на самородную серу значительную помощь оказали биохимическая гипотеза А. А. Лебединцева и неорганическая гипотеза А. С. Уклонского (1935) об условиях формирования месторождений самородной серы. Важные сведения по вопросам образования самородной серы были опубликованы А. В. Дановым (1932) и А. К. Марковым.

В вопросе выяснения условий образования осадочных медных месторождений большой интерес представляют исследования А. Д. Архангельского, И. С. Яговкина, А. В. Королева и А. А. Никонова.

А. Д. Архангельский (1932) поставил и попытался проанализировать два вопроса: 1) связана ли концентрация меди в осадочных месторождениях с организмами и 2) возможно ли развитие в тот или иной геологический период, в частности в пермский, медьсодержащих организмов. По данным многочисленных химических анализов А. Д. Архангельский вывел для различных осадков определенное отношение меди к углероду. Для отдельных осадков А. Д. Архангельский подтвердил ранее имевшиеся указания Я. В. Самойлова о связи меди с организмами. Однако, рассматривая этот вопрос в свете распространения меди в пермских отложениях западного склона Урала, А. Д. Архангельский указывает, что при приближении к Уралу количество меди возрастает. Наряду с этим в пермских отложениях имеются участки концентрации меди, лишенные органических веществ. В результате А. Д. Архангельский пришел к выводу, что медь, находящаяся в осадках, не связана с ее первичным нахождением в организмах, а принесена в бассейн с континентов, в частности, на западном склоне Урала за счет поступления из коренных медных месторождений.

И. С. Яговкин (1932) на примере анализа условий залегания меденосных пластов в кембрийских отложениях Приленского района Сибири пришел к выводу, что эти месторождения являются осадочными, так как оруденение не сопровождается никакими признаками гидротермального изъяснения вмещающих пород. При этом он указывал, что при осаждении меди из растворов значительную роль сыграли бактериальные процессы и сероводородное заражение, обусловившие проявление восстановительной среды. Осаждению сульфидов при содействии анаэробных бактерий способствует постоянный приток сульфатных растворов в застойные соляные бассейны, обогащенные органическими остатками, или битумами, служащими пищей для бактерий. Одним из факторов осаждения меди, по И. С. Яговкину, является также известь, которая насыщает мелководные тропические моря. Концентрация меди связана с ее вторичной перегруппировкой.

А. В. Королев (1934), сопоставляя данные по осадочным месторождениям меди Средней Азии, пришел к выводу, что медь поступала в растворах из коренных месторождений палеозойских гор в третичные солоноватые бассейны. Здесь она осаждалась в виде определенных минералов, накапливавшихся одновременно с песчаниками, содержащими животные и растительные остатки. При этом, по данным А. В. Королева, первичные месторождения несут крайне убогие руды, которые обогащаются за счет циркуляции метеорных вод, приносящих медь из смытых пластов.

А. А. Никонов (1937), полемизируя с А. Д. Архангельским, показывает, что среднее содержание меди в западных предгорьях Урала в осадках девона более высокое, чем в пермских отложениях, и что вместе с тем в девоне имел место расцвет организмов, аккумулировавших медь. А. А. Никонов подтвердил данные Я. В. Самойлова о связи меди в осадочных образованиях с органическими остатками и настаивал на необходимости проведения детальных геохимических исследований в пределах каждой геологической эпохи для тщательного выяснения поставленного вопроса.

Исключительно большие масштабы поисков, разведки и изучения разнообразных месторождений россыпей, и прежде всего золота и платины, были проведены в рассматриваемый период. Открытие, разведка и промышленное освоение ряда новых районов, концентрирующих россыпные месторождения золота, дали возможность собрать оригинальный, исключительно ценный материал. Он был обобщен в классических работах Ю. А. Билибина (1936, 1938), который разрешил ряд сложных теоретических вопросов в области геологии россыпей. Ю. А. Билибин показал, что основным фактором в образовании россыпей является движение донных наносов. Речные же нано-

сы, слагающие аллювиальные россыпи, представляют собой отложения не средних и даже не высоких вод, а лишь исключительно больших половодьев. Им также был проанализирован вопрос движения и накопления донных наносов в различных участках русла. При этом было показано, что на перекате происходит накопление металла в течение одного половодья, с тем чтобы переправить его в нижележащий плес в следующее половодье. Специально был разобран вопрос о значении эрозионных циклов для процесса образования россыпей и были выделены три фазы таких циклов: 1 — углубление долин, 2 — расширение долин и 3 — накопление наносов более длительное, чем расширение долин. Различные типы аллювиальных россыпей как русловые, долинные, террасовые и погребенные представляют собой определенные фазы в процессе развития любой аллювиальной россыпи. При этом наиболее временными являются русловые россыпи, которые характерны для молодых долин.

Кроме рассмотренных вопросов, Ю. А. Билибин попытался учесть баланс металла в процессе преобразования россыпи, выяснить условия образования россыпей вне зависимости от эрозионных циклов, условия образования сложных россыпей, особенности накопления металла в россыпях в зависимости от характера плотика и т. д.

Все эти исследования позволили Ю. А. Билибину впервые разработать теорию зональности аллювиальных россыпей, основанную на проявлении в речных долинах в направлении от истоков к устью не менее четырех зон, в каждой из которых проявлены россыпи определенного типа: 1 — зона долинных россыпей старого эрозионного цикла, 2 — зона русловых и террасовых россыпей, 3 — зона преобразования русловых россыпей в долинные, 4 — зона долинных россыпей нового эрозионного цикла. Эта теория оказала значительную помощь при поисках и оценке россыпей в различных частях речных долин.

В связи с большим объемом поисковых, разведочных и научно-исследовательских работ существенно пополнились представления о метаморфогенных железорудных месторождениях. В результате магнитометрических исследований, проводившихся под руководством А. А. Строны, на продолжении Криворожского бассейна была выявлена Кременчугская магнитная аномалия. В 1931 г. в пределах Курской магнитной аномалии впервые было выявлено Лебединское месторождение со значительными запасами богатых мартит-сидеритовых руд. На Дальнем Востоке в этот период были выявлены месторождения железистых кварцитов на Малом Хингане и в бассейне р. Уссури. Наиболее значительным из них представлялось Кимканское месторождение, открытое В. А. Перваго и предварительное изученное М. Н. Доброхотовым. На Кольском полуострове

поисковые работы привели к открытию крупных месторождений железистых кварцитов в Заимандровском районе.

Под научным руководством Н. П. Семененко и П. М. Каниболоцкого группой геологов во главе с Я. Н. Белевцевым, А. А. Зверюгой и П. М. Рудницким было осуществлено крупномасштабное геологическое картирование всего Криворожского бассейна, в результате были существенно расширены представления о его геологическом строении. В частности, была уточнена стратиграфия саксаганской серии, установлено 7 железорудных горизонтов в ее среднем отделе, что позволило по-новому представить историю геологического развития и структуру бассейна. Результаты этих исследований нашли отражение в монографии Н. П. Семененко¹.

К важным выводам пришел А. Л. Загянский (1933), изучавший Курскую магнитную аномалию. Он показал, что богатые железные руды возникли в связи с развитием древней коры выветривания.

Рассматривая состояние учения о рудных месторождениях в период предвоенных пятилеток, нельзя не отметить важный вклад в теорию рудообразования ряда специалистов, разрабатывавших геологические основы поисков и разведок. Среди них прежде всего должны быть упомянуты Н. И. Трушков, Н. С. Васильев, Л. Л. Пожарицкий и особенно В. М. Крейтер. В книге «Материалы по геологии поисков и разведок», вышедшей под редакцией В. М. Крейтера, а затем в известной его монографии «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» (1940) автор подробно анализирует геологические основы поисков и разведок месторождений твердых полезных ископаемых.

Базируясь на особенностях морфологии месторождений, геологических условиях их залегания, с учетом минерального состава руд, В. М. Крейтер разработал геологическую классификацию промышленных металлических и неметаллических месторождений и рассмотрел основные поисковые критерии: магматические, стратиграфолитологические и структурные, характерные для всех этих месторождений полезных ископаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ВТОРОМУ ПЕРИОДУ

Большой коллектив советских геологов, включившись в выполнение начертанных Партией планов предвоенных пятилеток, провел огромную работу по поискам, разведке и изучению рудных и неметаллических месторождений. Было открыто большое количество разнообразных месторождений, изучение кото-

¹ Эта монография была опубликована в послевоенное время (см. литературу четвертого периода).

рых способствовало существенному развитию учения о рудных месторождениях.

1. В течение рассматриваемого периода в виде самостоятельного раздела в учении о рудных месторождениях обособилась металлогения. Разработана теория рудных поясов, в пределах которых развиты месторождения одного или нескольких металлов, и выделены крупные рудные пояса, охватывающие огромные рудные регионы, и рудные пояса отдельных рудоносных провинций и районов. Было показано, что каждый из таких рудных поясов отличается историей геологического развития и магматизмом. Это оказало большое влияние на успешное проведение геолого-поисковых работ.

2. Благодаря усилиям А. В. Королева, В. М. Крейтера, А. В. Пэка и др. началось детальное изучение структур эндогенных рудных полей и месторождений различного генетического типа. Эти исследования благотворно влияли на практику геологоразведочных работ, существенно повышая их эффективность.

3. В области выяснения условий формирования магматических месторождений подтвердилось мнение о накоплении главной массы руд этих месторождений в позднемагматических условиях и показано, что Pt и хромшпинелиды кристаллизуются после накопления силикатов. Месторождения хромитов были отнесены к гистеромагматическим образованиям в отличие от аксессуарных хромшпинелидов, являющихся протоматматическими. Была высказана гипотеза о формировании титано-магнетитовых месторождений в связи с отжиманием рудоносных расплавов из остывающих основных и ультраосновных пород в трещины.

Экспериментальными исследованиями подтверждена возможность формирования медно-никелевых месторождений в связи с процессами ликвации. В то же время В. К. Котульским была показана различная природа вкрапленных и сплошных сульфидных руд.

Были открыты крупные магматические месторождения редких металлов, связанные с щелочными интрузиями и высказаны первые соображения об условиях их формирования.

4. Существенно развилось учение о пегматитах, разработанное А. Е. Ферсманом. Гранитные пегматиты были разделены на пегматиты чистой линии и линии скрещивания. Среди первых из них было намечено десять групп, формирование каждой из которых происходит в определенную фазу развития пегматитового процесса. Важные новые сведения были получены в результате изучения минералогии и геохимии пегматитов.

5. Продолжалось детальное изучение контактово-метасоматических месторождений различных металлов. П. П. Пилипенко было показано, что среди скарнов, ассоциирующих с

рудами, следует выделять так называемые сухие скарны и флюидоводные. Были уточнены представления о месте рудных минералов в ходе развития скарнового процесса и показано многостадийное формирование скарнов и связанных с ними руд. Наряду с этим получены первые важные сведения о формировании минералов скарнов за счет реакционного метасоматоза, протекающего по контакту алюмосиликатных и карбонатных пород и о структурных условиях формирования скарнов и связанных с ними руд. Было доказано, что скарново-магнетитовые месторождения формируются не только в связи со становлением гранитоидов, но и в связи с развитием траппового магматизма. Было высказано представление, что свинцово-цинковые месторождения, связанные со скарнами, в сущности являются высокотемпературными гидротермальными образованиями.

6. Новые обширные материалы, полученные в результате разведки и изучения гидротермальных месторождений, показали, что теория формирования этих месторождений, разработанная зарубежными геологами, не учитывает многих фактов, полученных на месторождениях СССР. С. С. Смирнов подверг критическому рассмотрению батолитовую концепцию Эммонса и показал несостоятельность как самой этой концепции, так и вытекающего из нее учения о зональности гидротермальных месторождений. Была разработана новая гипотеза, по которой зональность возникает в связи с прерывистым поступлением растворов разного состава на фоне всплеск трещинообразования. Экспериментальными исследованиями была доказана возможность существования пневматолитовой фазы рудообразования, в процессе проявления которой может переноситься существенное количество кремнезема и ряд рудообразующих компонентов. Много ценных сведений было получено по вопросу о связи гидротермального оруденения с магматизмом и высказана идея о генетической связи гидротермального оруденения не с конкретными интрузивными массивами, а с магматическим очагом. Проведенные минералогические исследования с применением принципов физической химии позволили А. Г. Бетехтину внести важный вклад в учение о текстурах и структурах руд. Детальное изучение геологии гидротермальных месторождений различных классов позволило А. Н. Заварицкому на примере Бакальского сидеритового месторождения предложить основные критерии отличия гидротермальных низкотемпературных и экзогенных месторождений.

7. В рассматриваемый второй период больших успехов добились отечественные исследователи в поисках, разведке и изучении геологии эндогенных и прежде всего гидротермальных месторождений отдельных металлов. Именно в этом направлении работало большинство геологов и их коллективными усилиями были выявлены и детально обследованы многочисленные место-

рождения различных генетических и морфологических типов, находящихся в разнообразных геологических условиях. При этом особо ценные сведения были получены по геологии месторождений редких металлов, рассеянных элементов, свинца и цинка, меди, золота, сурьмы, ртути и др. Обширный материал, полученный при изучении этих многочисленных месторождений, способствовал совершенствованию учения о рудных месторождениях и уточнению поисковых критериев на месторождения различных типов. Новые данные были получены также в результате изучения эндогенных неметаллических месторождений различных генетических типов. В частности, крайне важные сведения были получены при изучении апатитовых месторождений Колыского полуострова и доказано, что они являются магматическими дифференциатами щелочной магмы. Д. С. Коржинский создал теоретическую основу для парагенетического анализа минеральных ассоциаций, что имело важное значение при выяснении условий образования флогопитовых и тальковых месторождений и научного прогнозирования площадей, перспективных для поисков этих месторождений. Были высказаны новые идеи об условиях формирования слюдяных, асбестовых, графитовых, высокоглиноземистых, флюоритовых и других месторождений. Среди них выделены главнейшие генетические и промышленные типы.

9. Большое научное и практическое значение имели геолого-геохимические исследования, проведенные на рудных и неметаллических месторождениях экзогенного происхождения. Значительно углубилось представление об условиях образования никелевых месторождений, связанных с выветриванием ультраосновных пород, среди которых удалось выделить три типа. Уточнились представления об условиях образования осадочных и остаточных месторождений железа, в том числе легированных буро-железняковых руд. Важные идеи были высказаны Н. М. Страховым и другими исследователями о влиянии состава субстрата на состав руд осадочного происхождения и об условиях переноса железа и других компонентов в водные бассейны. А. Г. Бетехтин разработал теорию формирования осадочных марганцевых месторождений и установил зональность руд по отношению к береговой линии. А. Д. Архангельский выдвинул гипотезу о морском осадочном происхождении бокситовых месторождений, которая нашла экспериментальное подтверждение. Гипотезу коллоидного переноса бокситового материала, возникшего в связи с латеритовым выветриванием, отстаивал С. Ф. Малявкин. А. В. Казаков предложил новую хемогенную теорию формирования фосфоритовых месторождений, возникающих за счет гибели организмов в связи с изменением парциального давления углекислого газа, растворенного в воде. Н. С. Курнаков предложил новую гипотезу кристаллизации солей, которая позволила прогнозировать необхо-

димые условия для кристаллизации мирабилита и галита в Кара-Богаз-Голе и полностью подтвердилась на практике. Ю. А. Билибин разработал теорию зональности аллювиальных россыпей и охарактеризовал особенности четырех зон россыпей, проявленных в речных долинах. Новые ценные сведения были получены в результате проведенного крупномасштабного геологического картирования и других исследований, проведенных на метаморфогенных железорудных месторождениях Кривого Рога и Курской магнитной аномалии.

Основной особенностью всех научных исследований в области учения о рудных месторождениях является их целеустремленная направленность на решение важных народнохозяйственных задач по обеспечению нашей страны различными видами минерального сырья.

На XVII сессии Международного геологического конгресса, происходившей в Москве в 1937 году, многие зарубежные ученые вынуждены были признать крупные достижения советских геологов по ряду вопросов теории рудообразования.

ТРЕТИЙ ПЕРИОД

1941—1945 гг.

22 июня 1941 г. гитлеровская Германия вероломно напала на нашу Родину.

Великая Отечественная война явилась проверкой способности геологической службы страны решать грандиозные, порой острейшие задачи по обеспечению всеми видами сырья нашей военной промышленности. В эти тяжелые годы производство металлов и прежде всего цветных и редких, весьма важных для военной промышленности, в ряде случаев не убывало, а продолжало возрастать, несмотря на временную потерю многих предприятий в западной части страны. Противник тогда временно оккупировал Криворожский, Керченский, частью Липецкий железорудные бассейны, Никопольский марганцевый бассейн и прекратили работу заводы черной металлургии юга и частью центра страны. Были временно захвачены Днепровский и Волховский алюминиевые заводы с Тихвинскими бокситовыми рудниками, на Северном Кавказе вышел из строя Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат, на Украине — Никитовские ртутные рудники. На Кольском полуострове вблизи фронта оказались комбинат «Северникель» и в Северной Осетии завод «Электроцинк» с Садонским и другими рудниками. Все эти потери требовалось в короткие сроки восполнить в других районах нашей страны. Для этой цели геологи сконцентрировали свои усилия на расширении запасов руд действующих предприятий и на выявлении новых промышленных месторождений на площадях, доступных для быстрейшего освоения. В этой большой и сложной работе большую помощь оказали научные работники.

В деле организации и целеустремленного проведения геологических исследований для быстрейшего выявления стратегического сырья большую роль сыграли геологические институты АН СССР и ее филиалы. По инициативе президента Академии наук СССР академика В. Л. Комарова и под его руководством была создана специальная комиссия по мобилизации ресурсов Урала, Западной Сибири и Казахстана на нужды обороны. При Отделении геолого-географических наук АН СССР работала специальная комиссия под председательством академика А. Е. Ферсмана по оперативному геолого-географическому

обслуживанию армии. На Кавказе в этом направлении большая работа была выполнена Д. И. Щербаковым.

Ученые Академии наук СССР, ВСЕГЕИ, ВИМС и других научно-исследовательских организаций и геологоразведочных вузов направились на Урал, в Сибирь, республики Средней Азии и другие горнорудные районы нашей страны и приняли участие в проведении разведочных работ.

Напряженный труд советских геологов привел к исключительно важным открытиям. В течение тяжелого военного времени были открыты и освоены Хрустальнинское и Лифудзинское оловорудные месторождения в Приморье, Восточно-Коунрадское молибденовое месторождение в Казахстане. К освоенным промышленным шеелитовым месторождениям Средней Азии прибавилось Чорух-Дайронское месторождение, переоценка которого была сделана в 1941 г. В годы Великой Отечественной войны были выявлены и освоены бокситовые месторождения на Среднем Урале, медно-колчеданные на Южном Урале. На большинстве действующих рудников черных, цветных, благородных и редких металлов Урала, Сибири, Казахстана и Средней Азии существенно увеличались промышленные запасы руд. Взамен временно оккупированных рудоносных районов страны были разведаны и введены в промышленное освоение новые месторождения в Казахстане и Средней Азии.

Особенно остро стоял вопрос о создании заново сырьевых баз марганца и ртути. Советские геологи блестяще справились и с этой сложной задачей. Благодаря работам А. Г. Бетехтина, К. И. Сатпаева, К. В. Радугина, Ю. А. Санова, П. М. Каниболоцкого, К. Е. Кожевникова, Г. С. Момджи, В. И. Кавуна и др. были расширены перспективы и доказано промышленное значение марганцевых месторождений Западной Сибири, Урала и Центрального Казахстана. Во всех этих провинциях и особенно в Казахстане были выявлены марганцевые месторождения и в том числе Абаильское, Аркалыкское, Мангыстусское и Атасуйское. Все это дало возможность в короткий срок построить целую серию марганцевых рудников и организовать добычу марганцевых руд, удовлетворяющую потребность металлургических заводов Урала и Кузнецкого Алатау.

Благодаря настойчивой и целеустремленной работе группы геологов (В. И. Смирнов, В. А. Невский, А. В. Пуркин, В. Г. Сургай, В. П. Федорчук, Н. А. Никифоров и др.) на ранее выявленных ртутно-сурьмяных месторождениях Южной Ферганы в сжатые сроки были разведаны промышленные запасы руд и выявлены новые ртутные месторождения и рудные участки, не выходящие на дневную поверхность — Южное и Промежуточное поле в Хайдаркане. Это обеспечило возможность в короткие сроки создать промышленный Хайдарканский ртутный комбинат, который обеспечил нужды фронта в ртути.

В этот тяжелый для нашей страны период под руководством И. Ф. Григорьева, К. И. Сатпаева, И. И. Малышева и С. В. Горюнова продолжали созываться совещания геологов по сырьевой базе крупных регионов и отдельных металлов (молибдена, ртути), рудничной геологии. Под руководством А. А. Амирасланова и других в Министерстве цветной металлургии было проведено совещание геологов промышленности по расширению сырьевой базы цветных, редких и благородных металлов. В конце военного периода было проведено важное совещание по планированию геологоразведочных работ по всей стране на металлы на ближайшее 15-летие.

Все эти совещания оказали существенную помощь в проведении поисков, геологоразведочных работ и геологического обслуживания действующих рудников. В рассматриваемые годы ни на один день не прекращались и тематические углубленные научные исследования.

Изучением геохимии рудных месторождений активно занимался А. Е. Ферсман, осуществлявший общее руководство геологическими исследованиями по всему Союзу. А. Н. Заварицкий руководил научными работами на Урале, С. С. Смирнов — в Восточной Сибири и Забайкалье, И. Ф. Григорьев и К. И. Сатпаев — в Казахстане и Средней Азии, Д. И. Щербаков, К. Н. Паффенгольц и другие — на Кавказе. А. Г. Бетехтин, решая важнейшую задачу обеспечения страны марганцевыми рудами на Урале, в Казахстане и Западной Сибири, создал крупнейшее обобщение по месторождениям марганца. Одновременно он продолжал теоретические исследования по минералогии и геохимии. Д. С. Коржинский изучал скарновые месторождения Турьинской группы на Урале и разрабатывал новые методы парагенетического анализа минералов. В. С. Соболев проводил важные исследования по рудоносности траппов, а Ю. А. Билибин начал успешно разрабатывать основы металлогенического анализа.

В тяжелые годы войны временно прекратилось издание капитальных монографий и обобщающих сводок по рудным месторождениям. Однако «Известия АН СССР, серия геологическая», Доклады АН СССР, а также научные геологические журналы других организаций по-прежнему издавались. В них публиковались содержательные научные статьи по теории рудообразования, явившиеся крайне ценным вкладом в учение о рудных месторождениях.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эти исследования проводились во всех горнорудных районах страны, где в годы войны были сосредоточены основные разведочные и научно-исследовательские работы. К ним следует

ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УЧЕБНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ИРИСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА им. А.А.ИВАНОВА

С. С. СМЕРНОВ

ОЧЕРК МЕТАЛЛОГЕНИИ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
УЧЕБНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКЕ ПРИ СГУ ССФР

Титульный лист книги С. С. Смирнова
«Очерк металлогении Восточного
Забайкалья»

ном Забайкалье (Смирнов, 1944) и в других районах Восточной Сибири и Дальнего Востока, которые им были успешно начаты еще в довоенное время. С. С. Смирнов произвел детальное изучение особенностей геологического строения и рудоносности ранее намеченных им трех рудных поясов Восточного Забайкалья и попытался выяснить историю развития магматизма и эндогенных минералообразующих процессов в каждом из них. Он большое внимание уделил определению относительного возраста оруденения золото-молибденового, олово-вольфрамового и свинцово-цинкового поясов. При этом он пришел к важному выводу, что оруденение всех рудных поясов сформировалось в послевержнеюрское время и представляет собой последовательно проявляющиеся рудные серии единого рудного этапа. Этот вывод С. С. Смирнова имел важное значение при последующем проведении металлогенических исследований, вплоть до настоящего времени.

Значительные успехи были получены также Д. И. Щербаковым, Л. А. Варданьянцем, Г. С. Дзоценидзе, И. Г. Кузнецовым, К. Н. Паффенгольцем по изучению металлогении Кавказа. Д. И. Щербаков перенес на Кавказ полученный им опыт изуче-

отнести прежде всего металлогенические исследования в восточных районах. Наряду с этим важное значение имели детальные исследования геологии и металлогении медных, шеелитовых и свинцово-цинковых месторождений скарнового типа, колчеданных залежей Урала, Алтая, месторождений олова, молибдена и других редких, благородных и малых металлов, а также месторождений железа, марганца, алюминия и других полезных ископаемых. Все эти исследования в свою очередь дали богатый материал для важных теоретических выводов и обобщений по месторождениям различного генезиса.

Очень важными явились углубленные металлогенические исследования С. С. Смирнова в Восточ-

ния в период предвоенных пятилеток закономерностей размещения оруденения в Средней Азии. На основании обобщения материалов по месторождениям молибденовых, вольфрамовых, мышьяковых и свинцово-цинковых руд Кавказа Д. И. Щербаков попытался вскрыть закономерности развития и размещения различных рудных формаций. Было установлено, что молибденовое оруденение формируется на больших глубинах относительно вольфрамового и были выявлены структурные особенности локализации того и другого. Исследования Д. И. Щербакова показали, что особенности металлогении территории в значительной мере зависят от особенностей строения древнего фундамента (субстрата) и его взаимодействия с позднейшими магматическими образованиями. Эта идея особенно плодотворно развивается в настоящее время многими геологами.

В эти же годы Ю. А. Билибин, работая в области металлогенических исследований, обратил внимание геологов на тесную связь особенностей металлогении и истории геологического развития рудоносных площадей.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Среди общетеоретических исследований особое значение имели работы по изучению физико-химических процессов рудообразования и в первую очередь работы, выявляющие физико-химические условия отделения летучих от магмы и выясняющие процессы формирования пегматитов, а также исследования по изучению условий образования месторождений, связанных со скарнами.

А. Н. Заварицкий (1944) посвятил специальную работу анализу теории образования пегматитов, в которой критически разобрал существовавшее ошибочное толкование так называемой диаграммы Фогта — Ниггли. Исходя из физико-химических принципов, он дал строго теоретический вывод изобарических диаграмм ТХ для бинарной системы из летучего и нелетучего и системы из трех компонентов (один летучий и два нелетучих). Сопоставляя особенности этих диаграмм, он уделил особое внимание тем случаям, когда внешнее давление, под которым происходит кристаллизация магмы, несколько ниже максимальной упругости пара (отвечающей точкам кривой трех фаз). В этих случаях при охлаждении, сопровождающемся кристаллизацией магмы, в определенный момент наступает ретроградное кипение, знаменующее резкое качественное изменение состояния системы: избыточная жидкость превращается в газ, с которым выделившиеся до этого твердые фазы должны были находиться в равновесии. При таком состоянии системы процесс избирательной кристаллизации может приводить к образованию крупнокристаллических минеральных агрегатов, столь характерных для

пегматитовых месторождений. При дальнейшем охлаждении в системе наступает новое качественное изменение: остаточный газовый раствор подвергается ожигению. Этот процесс, как указывал А. Н. Заварицкий, является уже прототипом процесса образования гидротермальных растворов. С ним связаны процессы альбитизации пегматитов и выпадения из остаточных растворов других, в частности, рудных минералов гидротермального происхождения. Таким образом, согласно этой новой гипотезе, пегматиты являются послемагматическими образованиями, возникающими при кристаллизации магм в условиях больших глубин еще до наступления гидротермальных процессов.

В. А. Николаев (1944, 1945), основываясь на экспериментальных данных, доказавших сравнительно небольшую растворимость воды в силикатных расплавах, сделал попытку дать новую диаграмму для системы вода — силикат с ограниченной взаимной растворимостью компонентов. Из рассмотрения этой диаграммы, в противоположность взглядам Ниггли и др., он сделал вывод о возможности отделения газовой фазы на всех этапах остывания магмы, в различных геологических условиях, в том числе и глубинных (высокое давление исключает отделение газовой фазы). Он пришел к заключению, что состав дистиллятов может существенно определяться не относительной летучестью различных компонентов и соединений в магме, а их степенью растворимости в магме.

В деле разработки теории формирования скарновых месторождений большое значение имели исследования Д. С. Коржинского, проводившиеся им на примере изучения скарново-шеелитовых и скарново-халькопиритовых рудных формаций и приведшие к значительному углублению наших теоретических представлений по условиям формирования контактово-метасоматических месторождений. Д. С. Коржинский (1945) показал необходимость разделения компонентов, участвующих в реакциях при формировании скарнов и связанных с ними руд, на малоподвижные и легкоподвижные. К первым из них относятся Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , P_2O_5 , TiO_2 , ко вторым H_2O , CO_2 и растворимые соли различных металлов.

Согласно Д. С. Коржинскому, при формировании скарнов и связанных с ними месторождений широко проявляются процессы биметасоматоза при взаимодействии в условиях метаморфизма двух химических неравновесных пород, находящихся в контакте друг с другом — карбонатных и силикатных. Такое взаимодействие может протекать только при наличии поровых растворов, с помощью которых перемещаются компоненты взаимодействующих пород. Биметасоматоз обычно представляет собой сложное сочетание диффузии и ин-

фильтрации. Именно при формировании скарнов широко проявляется диффузия через поровые растворы таких малоподвижных компонентов, как Al_2O_3 , SiO_2 и CaO . В этом случае в скарнах развивается «метасоматическая зональность», выражающаяся в том, что вблизи контакта их с известняками преобладают минералы, обогащенные железом и кальцием, в частности, из гранатов на первый план выступает андрадит. При приближении к силикатным породам скарны все более и более обогащаются SiO_2 и Al_2O_3 , и в гранатах преобладающей становится гроссуляровая молекула. Формирование шеелитовых, медных, свинцово-цинковых и других руд, приуроченных к скарнам и образующихся позднее последних, связывается с явлениями «инфильтрационного метасоматоза».

В связи с этим же явлением происходит формирование «жильных» скарнов и связанных с ними руд, образующихся при просачивании растворов по трещинам.

«Биметасоматическая» гипотеза Д. С. Коржинского нашла широкое признание среди геологов, изучавших скарновые месторождения. Однако вместе с тем другие советские исследователи (А. В. Пэк, Ф. И. Вольфсон и др.), изучавшие скарново-шеелитовые месторождения Северного Кавказа и скарново-полиметаллические месторождения Карамазара, показали, что процесс скарнообразования является многостадийным, что обусловлено стадийностью тектонического развития в процессе минералообразования. В связи с этим зональность в скарнах может проявляться и более сложно, чем это вытекает из гипотезы Д. С. Коржинского.

Очевидно, метасоматическая зональность должна изучаться внутри каждой из проявленных стадий скарнообразования. Общее же изучение скарновых месторождений в связи с выдвинутым Д. С. Коржинским понятием о биметасоматозе значительно продвинулось вперед, и геологи успешно повели поиски скарновых месторождений различных металлов не только на контактах гранитоидов и известняков, но также в зонах контактов любых других алюмосиликатных пород с карбонатными.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

В период Великой Отечественной войны советские геологи добились значительных успехов в деле изучения месторождений отдельных металлов. Напряженная работа геологов, выражавшаяся в тщательной документации подземных горных выработок и скважин, в детальном геологическом картировании и в изучении состава руд на разнообразных месторождениях, привела к выявлению важных закономерностей в условиях формирования и в размещении месторождений различных металлов. Значительные успехи были достигнуты в процессе изучения медно-колче-

данных, оловорудных, молибденовых и вольфрамовых месторождений, а также редкометалльных пегматитов, ртутных, свинцовых, метаморфогенных марганцевых, гипергенных никелевых и осадочных бокситовых месторождений.

В изучении медно-колчеданных месторождений принял участие большой коллектив научных работников и геологов-производственников, проводивших исследования под руководством академика А. Н. Заварицкого. Еще в период первых пятилеток после открытия месторождения Блява А. Н. Заварицкий высказал предположение о генетической связи медно-колчеданного оруденения с теми же магматическими очагами, с которыми связаны и вмещающие вулканические толщи, а также об интенсивном метаморфизме рудных залежей, оказавшихся в зонах послерудных тектонических нарушений. Дальнейшее изучение многочисленных медно-колчеданных месторождений дало возможность разделить их на два типа. К первому относятся штокообразные, или мощные линзообразные тела, залегающие в слабометаморфизованных эффузивных породах. Такие месторождения приурочены к тектоническим нарушениям, либо их положение определяется сочетанием поверхностей тектонических нарушений со слоистостью вмещающих пород. Руды месторождений этого типа обычно имеют колломорфное строение и содержат в своем составе марказит и вюрцит.

Ко второму типу относятся колчеданные залежи, имеющие уплощенные линзовидные формы и залегающие в рассланцованных эффузивах. Месторождения эти древнее сланцеватости вмещающих пород и подверглись послерудному метаморфизму. Линзообразную форму колчеданные залежи приобрели в процессе метаморфизма рудных тел первого типа, сопровождавшегося перекристаллизацией руд, принявших полосчатое строение.

Гипотеза А. Н. Заварицкого была подкреплена рядом структурных и специальных минераграфических исследований С. Н. Иванова. Многие особенности формы рудных тел и распределение в них рудных компонентов нашли в свете этой гипотезы свое объяснение. Однако не все геологи, изучавшие уральские медно-колчеданные месторождения, приняли точку зрения А. Н. Заварицкого. Так, А. В. Пэк для некоторых колчеданных месторождений, залегающих в зоне рассланцованных эффузивов, показал, что многочисленные рудные тела, представлявшие раньше отдельными линзами, могут быть увязаны в единое пластообразное тело, согласное со слоистостью, но разобщенное на отдельные блоки дайками жильных пород. Последние А. В. Пэк считает дорудными и предполагает, что рудой была замещена пластообразная залежь «благоприятных» (вероятно, карбонатных) пород, пересеченная дайками еще до оруденения. Поскольку некоторые из этих даек массивны, он считает, что оруденение моложе сланцеватости вмещающих пород. Соглас-

но А. В. Пэку, колчеданные рудные тела, залегающие в зоне рассланцованных эффузивов, не изменили свою форму благодаря динамометаморфизму. К тому же последний в основном был закончен до рудообразования. Л. И. Лукин и Г. С. Лабазин, изучавшие структуру колчеданных месторождений на Северном Кавказе и в Салаире, пришли к тем же выводам, что и А. В. Пэк. Тем не менее более поздние исследования текстур и структур полосчатых руд колчеданных месторождений Урала, проведенные Т. Н. Шадлун уже в послевоенное время, показали, что эти руды после формирования испытали достаточно интенсивный динамометаморфизм, хотя существенного влияния на изменение формы рудных тел он, видимо, не оказал.

Гипотеза А. Н. Заварицкого по вопросу генезиса колчеданных месторождений, а также диспут, развернувшийся вокруг нее, нашли широкое освещение в периодической печати, а в послевоенное время по этому вопросу была написана под редакцией А. Н. Заварицкого специальная монография, являющаяся одной из наиболее глубоких работ по колчеданным месторождениям.

Переходя к рассмотрению результатов изучения молибденовых месторождений, необходимо указать, что основное внимание было направлено на детальное исследование месторождений кварцево-молибденитовой формации Центрального Казахстана, имевших в период Великой Отечественной войны особую промышленную ценность. Условия образования рудных жил этой формации на примере месторождений Прибалхашья были детально изучены Ф. В. Чухровым. По его данным, на раннем этапе образования месторождения происходило формирование грейзенов, сложенных кварцем, мусковитом и содержащим включения пирита, ильмен-рутила и раннего молибдена. При этом в строении рудных зон наблюдается зональность, выражающаяся в развитии грейзенов подрудных, околорудных и надрудных. Первые из них оказываются существенно альбитовыми. Плагноклаз в них не изменен, а калиевый полевой шпат оказался замещенным шахматным альбитом. В околорудных грейзенах плагноклаз и калиевый полевой шпат замещены кварцем. Надрудные грейзены обогащены мусковитом, который, по Ф. В. Чухрову, образовался за счет калия и алюминия, высвободившихся при формировании подрудных и околорудных грейзенов. Сами рудные жилы сложены равномерно зернистым жильным кварцем, содержащим изолированные включения молибденита. Однако главная масса последнего отложилась на контакте с грейзенами путем нарастания лучистых агрегатов на околожильный грейзен. По данным Ф. В. Чухрова, развивающееся высказанное ранее соображение О. Д. Левицкого, образование жильного выполнения происходило из вязкой массы, единовременно заполнившей жильные трещины. Последнее он подтверждал наличием друзовых полостей в самых различных частях сечения жил и

сферолитоподобным строением молибденита. В последующую стадию шло формирование тонких кварцевых жил, несущих мелкоочушчатый молибденит и рассекающих все ранее образованные минералы.

Рассматривая количественные и возрастные соотношения различных минералов. Ф. В. Чухров отмечал, что в заключительный момент второй стадии формирования основной массы жильного выполнения происходило отложение флюорита и жильбертита. Возникновение последнего тесно связано с замещением полевых шпатов, заключенных в жильном кварце. Характерно при этом, что между содержанием в грейзенах слюды и молибденита устанавливается обратная зависимость.

Большой интерес, кроме того, представляли исследования Ф. В. Чухрова по вопросу о поведении молибдена в зоне выветривания. До его работ в этом направлении в специальной литературе установилось мнение, что выщелачивание молибдена при гипергенных процессах не имеет сколько-нибудь существенного значения для оценки молибденовых месторождений по их выходам. Однако изучение этого вопроса Ф. В. Чухровым в условиях выветривания выходов месторождений в жарком и сухом климате Прибалхашья показало возможность достаточно большого масштаба гипергенного выщелачивания молибдена. На выходах изученного месторождения минералы молибдена практически не выявляются, а вместо них в кварце и по контакту его с грейзенами наблюдаются полости выщелачивания, которые встречаются до глубины 10—15 м. Такие полости нередко характеризуются развитием перегоронок кварца, сходящихся к центру полостей, либо они выражаются параллельными ребристыми выступами на стенках высотой от 0,5 до 2 мм. В некоторых полостях наблюдались угловато-бугорчатые пирамидальные, либо ребристые выступы. На контакте кварца с грейзенами были выявлены щелеобразные полости. Лишь в исключительно редких случаях в упомянутых полостях наблюдались корочки сохранившегося молибденита, либо повеллита.

Как известно, при выветривании молибденита образуются, с одной стороны, серная кислота, а с другой — сернокисломолибденовый комплекс ($\text{MoO}_2 \cdot \text{SO}_4$) или молибденовая кислота (H_2MoO_4). Оба эти соединения молибдена легко растворимы в воде. В растворах, реакция которых приближается к нейтральной, сернокисло-молибденовый комплекс и молибденовая кислота в результате взаимодействия с солями окисного железа или солями кальция дают соответственно ферримолибдит или повеллит. Первый более устойчив в слабокислых растворах, а второй в нейтральных, или слабощелочных (рН 7—8).

По данным Ф. В. Чухрова, основной предпосылкой для выноса молибдена из зоны окисления является отсутствие сильных нейтрализаторов, которыми служат карбонаты, а также бикар-

бонаты кальция, приносимые нисходящими водами. В изученных им месторождениях, залегающих в гранитах, карбонаты отсутствуют. В полупустынном климате со слабой растительностью, что имеет место в Центральном Казахстане, характерно незначительное содержание бикарбонатов в водах. Вместе с тем месторождение характеризуется развитием хорошо проработанной зоны окисления и повышенным содержанием пирита, способствовавших появлению кислых вод. Все это благоприятствовало выщелачиванию молибдена из зоны выветривания. Любопытно отметить, что в участках, где выветривающиеся рудные жилы были нарушены послерудными нарушениями, вдоль которых имела место усиленная циркуляция поверхностных вод, выщелачивание молибдена не проявлялось. Это, очевидно, было связано с тем, что поверхностные воды все же содержали определенное количество бикарбоната кальция, который способствовал образованию повеллита.

Установленные Ф. В. Чухровым закономерности сыграли важную роль в деле оценки молибденовых месторождений по их выходам и привели к открытию новых месторождений.

Поисковые работы на оловорудные месторождения, развернувшиеся в период предвоенных пятилеток в Восточных районах нашей страны, дали наибольшие результаты в годы Великой Отечественной войны. Был открыт ряд новых промышленных месторождений, относящихся к сульфидно-касситеритовой группе, что полностью подтвердило прогноз С. С. Смирнова о путях расширения оловорудной сырьевой базы. Полученный новый фактический материал позволил С. С. Смирнову (1941) сделать первые важные теоретические обобщения по геологии олова. В частности, им было впервые показано, что сульфидно-касситеритовые месторождения генетически связаны не с кислыми, а со средними по составу породами и образуются они в условиях недосыщенности растворов серой по отношению к железу, в результате чего типоморфными минералами в рудах этих месторождений являются не пирит, а пирротин и железистый хлорит. Важное значение приобрела также новая классификация оловорудных месторождений, разработанная С. С. Смирновым при участии О. Д. Левицкого, Е. А. Радкевич, Я. Д. Готмана, М. Ф. Стренкина и др. Особую ценность представляла группировка сульфидно-касситеритовых месторождений, среди которых были выделены: 1) оловоносные скарны, 2) малосульфидные, или бессульфидные касситеритовые месторождения с турмалином или хлоритом, 3) сульфидно-касситеритовые месторождения с кварцем и карбонатом.

Параллельно с получением важных новых данных по геологии олова, в рассматриваемый период исключительно ценные материалы были получены по геологии золоторудных месторождений в связи с работами Ю. А. Билибина (1945) по Алдану.

В период Великой Отечественной войны ценные теоретические обобщения по условиям формирования гипергенных железных руд были опубликованы Н. М. Страховым (1941), Б. П. Кротовым и другими исследователями. Н. М. Страхов показал важную роль климатически благоприятных зон для формирования элювиальных озерно-болотных и морских осадочных железных руд. Им была показана также важная роль выветривания ультраосновных и основных пород в формировании гипергенных железных руд, особенно в части их богатства ценными примесями. Были также проанализированы условия формирования сидеритовых руд, накапливающихся в паралических угленосных бассейнах, обычно в подошве угольных пластов и в кровле их, либо в открытых морях, где конкреции сидеритов наблюдаются в илестых осадках. В отличие от них оолитовые гематитово-шамозитовые руды, а также фосфористые гидрогетитовые руды хоперского типа и железо-алюминиевые руды средиземноморского типа формируются в прибрежной мелководной зоне. Н. М. Страхов впервые указал, что накопление железных руд происходит в начальной стадии трансгрессии, либо регрессии моря.

Теория образования осадочных месторождений марганца, разработанная в годы предвоенных пятилеток А. Г. Бетехтиным, полностью подтвердилась на вновь открытых месторождениях и на ранее известных, разведывавшихся в восточных районах нашей страны. Она помогла дать правильный прогноз распространения высококачественных руд для ряда месторождений и позволила более эффективно направлять поисковые и разведочные работы, что имело исключительное значение в деле обеспечения металлургических заводов Востока марганцевым сырьем.

Важные закономерности были также установлены при изучении метаморфизованных месторождений марганца. Главным образом это относится к выяснению особенностей изменения минерального состава в зависимости от кислородного режима на той глубине, на которой происходил метаморфизм. В частности, было геологически доказано, что родонитовые залежи Южного Урала, вопреки прежним представлениям, являются не скарнами, а возникли в связи с преобразованием марганценосных кремнистых осадков в восстановительных условиях, в которых окислы марганца легко соединяются с кремнеземом, образуя силикаты марганца. Это было подтверждено и экспериментальным путем.

Значительно продвинулись исследования в области изучения алюминиевого сырья. Поисковые работы, базировавшиеся на теории А. Д. Архангельского о морском осадочном происхождении бокситовых месторождений, в рассматриваемый период привели к открытию ряда важных промышленных месторождений. Геологоразведочные работы сопровождались новыми детальными научными исследованиями, среди которых особое зна-

чение имели работы Д. В. Наливкина, А. В. Пейве, А. И. Любимова и др. по изучению стратиграфии, литологии и тектоники районов развития палеозойских бокситов на Северном Урале, а также исследования А. Л. Яншина и В. А. Вахромеева, проводившиеся в районах развития мезо-кайнозойских бокситов на Южном Урале и в Казахстане.

Полученный в результате этих исследований большой фактический материал позволил вынести на обсуждение вопрос об источнике глинозема, который не был до этого детально рассмотрен А. Д. Архангельским. Е. В. Рожкова, Ю. Г. Горецкий и другие, развивая идеи С. Ф. Малявкина, высказывали представление о накоплении глинозема на суше в результате выветривания коренных пород и о переносе его в морские бассейны кислыми поверхностными водами. А. В. Пейве (1947) выдвинул гипотезу о накоплении глинозема в морской воде в связи с вулканической деятельностью и вызванными этой деятельностью гидротермальными процессами.

Значительно были углублены исследования месторождений, связанных с корой выветривания, особенно силикатных соединений никеля и гидроокисных железо-никелевых руд (И. И. Гинзбург и его сотрудники, А. А. Глазковский, М. Н. Годлевский, Б. П. Кротов и др., работавшие в тесном сотрудничестве с геологами-производственниками: В. В. Быстраковым, М. А. Цибульчиком, Ф. А. Сысоевым и др.). Было показано, что к процессам выветривания относятся окисление, гидратация, выщелачивание оснований и гидролиз с выпадением минералов из истинных и коллоидных растворов (И. И. Гинзбург, И. З. Корин и др.). Было установлено, что выветривающаяся порода проходит ряд стадий в изменении своего состава. С этим связано образование при площадном выветривании вертикальной зональности в минеральном составе коры выветривания. Совокупность отдельных зон выветривания создает профиль выветривания. При этом руды металлов могут накапливаться в различных зонах выветривания. Никель, в частности, концентрируется в следующих зонах выветривания ультраосновных массивов: зона охристых руд, нонтронитизированных серпентинитах и выщелоченных серпентинитах. Часть никеля входит в состав никелевых силикатов типа гарниерита, другая же адсорбируется галлуазитом, нонтронитом и другими минералами. Состав образующихся кор выветривания отражается на химическом составе поверхностных и грунтовых вод, кластических, коллоидных и химических осадков. В результате происходит образование вблизи нонтронитизированных серпентинитовых массивов осадочных железных руд, обогащенных никелем и хромом. Установленные закономерности способствовали выявлению не только руд никеля, но также и важных в промышленном отношении месторождений легированных железных руд.

Детальное изучение геологического строения контактно-карстового типа никелевых месторождений в ряде случаев позволило открыть промышленные скопления никелевых руд под покровом выщелачивающихся серпентинитов в карстах среди известняков. Все это способствовало увеличению количества добычи руд, сыгравших важную роль в развитии оборонной промышленности.

В годы Великой Отечественной войны большой объем геологоразведочных работ проводится на неметаллические ископаемые и прежде всего на те виды сырья, которые имели особо важное оборонное значение.

Были открыты, детально разведаны, изучены и переданы в эксплуатацию месторождения пьезокварца, исландского шпата и флюорита. Этому способствовали исследования Н. К. Морозенко, Н. П. Ермакова, Г. Г. Грушкина и др. Важное значение для успешного проведения работ на неметаллическое сырье имела книга Б. Я. Меренкова и М. В. Муратова (1942), посвященная основам геологии неметаллических ископаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ТРЕТЬЕМУ ПЕРИОДУ

В период Великой Отечественной *войны перед советскими геологами стояли исключительно сложные задачи по обеспечению военной промышленности всеми видами стратегического сырья. Успешно решая эти задачи, они выполнили и ряд важных теоретических исследований в области науки о рудных месторождениях.

1. Продолжавшиеся С. С. Смирновым металлогенические исследования в Восточном Забайкалье позволили прийти к заключению, что магматические породы, развитые в трех выделенных им ранее рудных поясах, имеют близкий возраст, а рудные месторождения, развитые в этих поясах, представляют собой разные рудные серии единой стадии (этапа). Д. И. Щербаков на примере Кавказа показал, что особенности металлогении территории зависят от особенностей строения древнего фундамента. Ю. А. Билибин подчеркнул тесную связь особенностей металлогении с историей геологического развития рудоносных площадей.

2. А. Н. Заварицкий критически рассмотрел физико-химическую диаграмму Фогта — Ниггли и разработал новую теоретическую схему для построения изобарических диаграмм ТХ для бинарной системы из летучего и системы из трех компонентов (один летучий и два нелетучих). На основании вновь построенной им физико-химической диаграммы А. Н. Заварицкий пришел к выводу, что пегматиты представляют собой промежуточные образования между магматическими породами и гид-

ротермальными месторождениями. Согласно новой физико-химической диаграмме, построенной В. А. Николаевым, отделение газовой фазы может происходить на всех этапах остывания магмы.

3. Д. С. Коржинский развил учение о формировании скарновых месторождений и рассмотрел участие в их образовании мало-подвижных и легкоподвижных компонентов. В связи с процессами биметасоматоза в скарнах развивается метасоматическая зональность. В условиях проявления инфильтрационного метасоматоза возникают жильные скарны.

4. При изучении геологии месторождений отдельных металлов особенно важной оказалась гипотеза А. Н. Заварицкого о генетической связи медно-колчеданного оруденения с магматическими очагами, породившими вмещающие это оруденение вулканической толщи. В одних случаях, по данным А. Н. Заварицкого, рудные тела медно-колчеданных месторождений не подвергались существенному метаморфизму, в других, попадая в зону расланцевания, они оказались существенно метаморфизованными с изменением их морфологии. Исследования А. В. Пэка и других не подтвердили изменение морфологии рудных тел при их метаморфизме.

5. Новые важные данные были получены Ф. В. Чухровым при изучении условий образования молибденовых месторождений кварцево-молибденитовой формации; им показано зональное строение сопровождающих их грейзенов. С. С. Смирнов и другие предложили первый вариант классификации оловорудных месторождений и прежде всего их касситерит-сульфидной группы.

6. Н. М. Страхов показал важную роль климатически благоприятных зон для формирования элювиальных озерно-болотных и морских осадочных железных руд, а также важное значение при их формировании и обогащении легирующими компонентами явлений выветривания основных и ультраосновных пород. А. Г. Бетехтиным были получены новые данные при изучении метаморфогенных месторождений марганца и показана важная роль кислородного режима при формировании различных минеральных ассоциаций, развитых на этих месторождениях. При этом было показано, что родонитовые залежи Урала представляют собой не скарны, а метаморфизованные марганценовые кремнистые осадки. Существенно расширились представления об условиях формирования бокситовых месторождений в связи с новыми открытиями, в значительной мере базировавшимися на гипотезе А. Д. Архангельского о морском осадочном происхождении этих месторождений. Наряду с этим нашла дальнейшее развитие гипотеза С. Ф. Малявкина о происхождении бокситов, и А. В. Пейве выдвинул новую гипотезу об образовании бокситовых месторождений в связи с накоплением глинозема в

морской воде в период вулканической деятельности и вызванным ею гидротермальным процессом.

7. Изучение коры выветривания и связанных с ней силикатных соединений никеля и гидроокисных железо-никелевых руд показало многостадийность их формирования. С этим связано проявление вертикальной зональности в распределении минеральных образований коры выветривания.

Подводя итоги краткому рассмотрению развития учения о рудных месторождениях за годы Великой Отечественной войны, необходимо указать, что несмотря на трудности военного времени это учение достигло значительных успехов.

Особенно велики были успехи в деле применения принципов физической химии для объяснения механизма отделения летучих от магмы, развития пегматитового и скарнового процесса. Наряду с этим советские геологи использовали теоретические достижения отечественных ученых, полученные в годы предвоенных пятилеток, и направили все свои усилия на выявление минеральных богатств, так необходимых для широкого развертывания военной промышленности. Прогнозы крупнейших советских ученых: А. Е. Ферсмана, А. Н. Заварицкого, А. Д. Архангельского, С. С. Смирнова, И. Ф. Григорьева, Д. И. Щербакова, А. Г. Бетехтина, И. И. Гинзбурга, Ю. А. Билибина и других о возможности нахождения руд различных металлов и новых типов месторождений в тех или иных районах, практически полностью подтвердились. За короткий срок были выявлены новые крупные месторождения черных, цветных, редких металлов и неметаллического сырья, которые сразу же вступали в промышленное освоение. Детальное изучение всех этих месторождений, проводившееся большим коллективом рудничных геологов и разведчиков с участием научных работников, привели к установлению новых важных закономерностей по условиям образования и пространственного размещения различных типов месторождений.

Наука о рудных месторождениях обогатилась новыми глубокими теоретическими положениями.

ЧЕТВЕРТЫЙ ПЕРИОД

1946—1953 гг.

Советский народ после победоносного окончания Великой Отечественной войны перестроил военную промышленность на мирный лад и приступил к осуществлению четвертой, а затем и пятой пятилеток. Основные задачи состояли в том, чтобы восстановить и превзойти довоенный уровень промышленности и сельского хозяйства и создать условия для постепенного перехода от социализма к коммунизму. Перед советскими геологами была поставлена ответственная и почетная задача — обеспечить всеми видами минерального сырья быстро растущие потребности народного хозяйства, особенно в восточных районах СССР.

Советские геологи провели также большую работу по выявлению минеральных богатств в странах народной демократии, приступивших к строительству социализма.

1952 г. ознаменовался важнейшим политическим событием. Был созван XIX съезд Коммунистической партии, принявший важные решения по пятому пятилетнему плану развития СССР (на 1951—1955 гг.). В исторических решениях XIX съезда было сказано: «В целях удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства в сырьевых и топливных ресурсах обеспечить дальнейшее развитие работ по разведке природных богатств в недрах, выявление запасов полезных ископаемых и в первую очередь цветных и редких металлов, коксующихся углей, алюминиевого сырья, нефти, богатых железных руд и других видов промышленного сырья»¹.

В свете этого решения объем геологоразведочных и научно-исследовательских работ на рудные и неметаллические ископаемые должен был резко увеличиться.

Быстро развивавшаяся социалистическая промышленность ежегодно потребляла огромное количество разнообразного минерального сырья и прежде всего руд черных, цветных и редких металлов, рост добычи которых значительно превысил довоенный.

Геологам приходилось решать сложные задачи по выявлению

¹ Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы. М., Госполитиздат, 1958, стр. 14.

и разведке такого количества запасов руд, которое удовлетворяло действующую промышленность всеми видами минерального сырья. Одновременно создавались резервы для дальнейшего расширения производства.

Для повышения эффективности геологических исследований были произведены важные организационные мероприятия, способствовавшие развитию геологической службы в стране. Комитет по делам геологии при Совете Министров СССР был реорганизован в Министерство геологии. Резко усилилась геологическая служба в Министерствах черной и цветной металлургии, угольной, нефтяной и химической промышленности. Широко развернулись исследования в области изучения геологии рудных месторождений в АН СССР, в республиканских академиях и отраслевых институтах Министерства геологии СССР.

В Министерстве цветной металлургии был организован ряд новых институтов с геологическими лабораториями и отделами. Значительно усилились научно-исследовательские работы в геологоразведочных высших учебных заведениях и особенно в Ленинградском горном институте, в Ленинградском и Московском университетах, в Московском геологоразведочном, в Московском институте цветных металлов и золота, в Новочеркасском политехническом и в Свердловском горном институтах и других высших учебных заведениях. Так же, как и в предвоенные пятилетки, с каждым годом все более и более увеличивалась потребность в геологах для проведения поисковых и разведочных работ на руды металлов в различных районах нашей Родины, для геологического обслуживания действующих рудников и для участия в научно-исследовательских работах.

Советские учебные геологоразведочные институты и геологические факультеты горно-металлургических, политехнических институтов и многочисленных университетов в рассматриваемый период полностью справились с поставленными перед ними задачами по подготовке кадров. Ежегодно выпуск специалистов-геологов все более и более увеличивался в основном за счет укрупнения существующих геологоразведочных вузов и факультетов, многочисленных техникумов и частично за счет организации новых факультетов и учебных заведений.

Наряду с этим значительно повысилось качество выпускаемых специалистов за счет углубления преподавания теоретических курсов, а также за счет лучшей организации производственных практик и расширения научно-исследовательской студенческой работы. Студенты старших курсов и дипломники, а также представители местных краеведческих организаций принимали все большее участие в поисковых работах на руды металлов.

Все упомянутые мероприятия способствовали повышению эффективности проводимых поисковоразведочных работ, что

привело к новым важным открытиям. В 1954 г. Л. А. Попугаевой была открыта первая кимберлитовая трубка с алмазами, положившая начало дальнейшему открытию коренных и рассыпных месторождений алмазов в западной части Якутской АССР. Большое значение имело открытие Соколовско-Сарбайских магнетитовых месторождений в Кустанайской области, обнаружение крупного Кочкарского магнетитового месторождения, а также Аятского и Лисаковского месторождений бурожелезняковых оолитовых руд. В рассматриваемый период последовали первые открытия богатых железных руд в районе Курской магнитной аномалии, были открыты новые штокверковые молибденовые месторождения в Восточной Сибири.

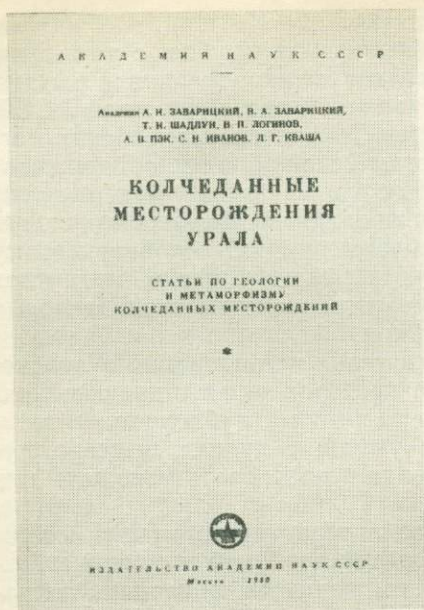
Успешное проведение геологических исследований и поисково-разведочных работ на рудные месторождения в значительной мере было связано с общим подъемом и углублением теоретических исследований в области учения о рудных месторождениях, которые более широко начали использовать методы и данные химии, физики, математики.

Опубликованная в этот период литература по рудным месторождениям характеризуется большой глубиной и содержательностью. Наряду с работами, посвященными описанию месторождений различных генетических типов, начали широко публиковаться обобщающие теоретические работы, посвященные анализу процессов рудообразования. Другой характерной чертой ряда работ по геологии рудных месторождений являются анализ и критика многих гипотез и теоретических положений ряда зарубежных и некоторых советских исследователей.

Отмеченный более высокий научный уровень характерен как для вышедших из печати учебников и учебных пособий, так и для многих монографий и статей. В частности, «Курс полезных ископаемых» под редакцией А. Г. Бетехтина и П. М. Татарина (1946), являющийся вторым изданием ранее опубликованного краткого курса полезных ископаемых, пополнился рядом важных теоретических положений.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом минерального сырья (ВИМС) был издан ряд исключительно серьезных руководств по оценке месторождений при поисках, среди которых особо важное значение имеют работы Б. М. Косова и Н. М. Остроменецкого (1949) — «Олово», А. А. Глазковского (1949) — «Никель», Г. Г. Гудалина и Ф. И. Ковалева (1951) — «Медь» и ряд других. В деле популяризации знаний в области полезных ископаемых среди широких кругов геологов большое значение сыграли также специальные выпуски этого института (справочники для геологов), посвященные различным металлам и неметаллическим ископаемым.

В 1950 г. было опубликовано полное, а в 1951 г. сокращенное издание «Минералогии» А. Г. Бетехтина. Эта книга оказала



Титульный лист книги А. Н. Заварицкого и др. «Колчеданные месторождения Урала»

режима серы и кислорода в процессе эволюции рудоносных растворов, а также причины движения растворов при формировании гидротермальных месторождений, Н. П. Ермакова (1949), Г. Г. Леммлейна и Г. Г. Грушкина (1953), посвященные определению температуры образования минералов посредством гомогенизации включенных в них пузырьков жидкости и газа. Наряду с этим были опубликованы работы Д. С. Коржинского (1948, 1950, 1951), анализирующие метасоматические процессы, Ю. А. Билибина (1947, 1948, 1951) и Д. И. Щербакова (1952), посвященные методам металлогенических исследований, Ф. В. Чухрова (1950) по вопросу о составе и состоянии рудоносных растворов, Ф. И. Вольфсона (1948, 1951, 1952), посвященные структурным исследованиям, условиям образования свинцово-цинковых скарновых месторождений и общим проблемам изучения гидротермальных месторождений, А. В. Королева (1948, 1949, 1951), характеризующие вопросы зональности в гидротермальных месторождениях и освещающие роль вмещающих пород при рудообразовании, Е. А. Радкевич (1951), рассматривающие условия образования сульфидно-касситеритовых месторождений, Т. Н. Шадлун (1950), посвященные структурам

серьезную помощь студентам и молодым геологам в деле изучения разнообразных минералов рудных месторождений.

Для развития минералогических исследований важную роль сыграли руководства по минералогии И. С. Волинского (1947) и С. А. Юшко (1949), которые значительно углубили и развили методику минералогического изучения руд.

Среди исследований, анализирующих общетеоретические вопросы, особый интерес имели работы академика С. С. Смирнова (1946, 1947), характеризующие современное состояние теорий рудообразования, А. Г. Бетехтина (1949, 1950, 1953), рассматривающие новые вопросы рудообразования в связи с изменением

и текстурам руд колчеданных месторождений, Г. А. Соколова (1946) и Н. В. Павлова, выясняющие взаимоотношение состава хромшпинелидов и состава вмещающих их пород, С. А. Кашина (1948), рассматривающие условия образования комплексных магматических месторождений титана, меди и ванадия, К. А. Власова (1952), А. И. Гинзбурга (1952), А. А. Беуса (1951), В. И. Кузнецова (1948), посвященные пегматитам, Д. С. Коржинского (1948) по медным скарновым месторождениям, Х. М. Абдуллаева (1947), Н. В. Нечелюстова (1947) по шеелитовым месторождениям скарновой формации, В. И. Смирнова (1947₂) по сурьмяно-ртутным месторождениям Средней Азии, Н. И. Бородаевского и М. Б. Бородавской (1947) по золоторудным месторождениям, Н. И. Наковника (1947) по вторичным кварцитам. Большой интерес также представили работы Ю. К. Горецкого (1947), А. К. Гладковского (1948), Н. М. Страхова (1947), И. И. Гинзбурга (1946, 1947) и Б. П. Кротова (1953₁, 1953₂), рассматривающие условия образования гипергенных месторождений алюминия, железа, никеля, Н. П. Семененко (1946), И. А. Русиновича (1948), Я. Н. Белевцева (1951) и Н. И. Танатара (1948), посвященные метаморфогенным железорудным месторождениям, а также целая серия работ других авторов, характеризующих условия образования рудных месторождений различных генетических типов и формаций.

Чтобы в кратких чертах осветить уровень, которого достигла в данный период наука о рудных месторождениях в нашей стране, мы в сжатом виде остановимся на некоторых общих теоретических исследованиях, а также на рассмотрении состояния этой науки по всем генетическим группам месторождений: магматическим, пегматитовым, гидротермальным, осадочным, сложного химического выветривания и метаморфогенным.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Среди общетеоретических работ в области рудообразования особо следует отметить исследования метасоматических процессов, проведенные Д. С. Коржинским (1950, 1951, 1953). Развивая и совершенствуя ранее сложившиеся представления, Д. С. Коржинский показал, что перемещение компонентов при метасоматозе совершается либо посредством диффузии их через поровые растворы, либо путем просачивания (инфильтрации) растворов. При обоих типах метасоматических процессов проявляется метасоматическая зональность, выражающаяся в образовании «колонки» более или менее резко ограничивающихся зон, которые возникают и разрастаются одновременно с перемещением образующихся между ними границ в сторону замещаемой породы. Каждая граница между зонами представляет фронт

замещения, на котором один из минералов замещается полностью. Метасоматические процессы, как правило, ведут к сокращению числа минералов в породе, вплоть до образования мономинеральных пород. Д. С. Коржинскому путем детального анализа термодинамических потенциалов физико-химических систем, которые проявляются при метасоматозе, удалось объяснить физико-химическую сущность закона постоянства объема при метасоматозе, в свое время эмпирически установленного В. Линдгреном.

Важные теоретические исследования в области рудообразования были проведены А. Г. Бетехтиным (1949, 1950, 1953, 1953₂, 1953₃). На основании наблюдаемых парагенетических ассоциаций минералов и закономерности их смены во времени и пространстве этому исследователю удалось проанализировать вопрос о влиянии режима кислорода и серы на процессы рудообразования и парагенетические соотношения минералов в рудах.

В связи с тем, что при формировании магматогенных месторождений на больших глубинах концентрация кислорода неизмеримо мала по сравнению с концентрацией свободного кислорода в атмосфере, химические элементы, которые в соответствии с окислительно-восстановительным потенциалом среды в приповерхностных условиях способны входить в соединения в виде разновалентных ионов, на более глубоких горизонтах образуют минералы, содержащие эти элементы в низших степенях валентности.

В изучении общей проблемы образования руд плодотворным явился предложенный впервые А. Г. Бетехтиным метод анализа парагенезисов минералов с помощью геометрических методов изображения. Ценность этого метода заключается в том, что он не только позволяет расшифровать многие закономерности геохимических процессов, приводящих к рудообразованию, но и дает возможность рационально направлять экспериментальные исследования с целью проверки выводов, к которым приводит систематическое изучение минеральных ассоциаций. Исследования А. Г. Бетехтина открыли новую страницу в решении сложных проблем минералообразования и имеют не только большое научное, но и практическое значение.

Общие проблемы рудообразования разрабатывались на базе огромного количества фактов, полученных при изучении различных месторождений.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Металлогенические исследования и обобщения, начатые в годы предвоенных пятилеток А. Е. Ферсманом, Д. И. Щербаковым и С. С. Смирновым, в послевоенные годы сложились в новое

крупное научное направление в учении о рудных месторождениях, выясняющее закономерности распределения оруденения во времени и пространстве в зависимости от истории геологического развития структурно-металлогенических зон. В разработке этого направления начали принимать участие большие коллективы геологов производства и научных работников. Особо значительными явились работы отдела металлогении ВСЕГЕИ под руководством Ю. А. Билибина, а также исследования, проводившиеся под руководством Д. И. Щербакова и Н. С. Шатского в АН СССР.

Ю. А. Билибин (1947) обратил внимание геологов на необходимость выделения в рудоносных провинциях структурных ярусов, каждый из которых сложен породами, подвергнутыми складчатости той или иной интенсивности, прорван интрузивными массивами определенного состава и включает эндогенные месторождения, характеризующиеся специфическим минеральным составом и металлогеническими особенностями. Эти представления Ю. А. Билибина оказались исключительно плодотворными и нашли дальнейшее развитие в исследованиях ряда геологов.

Наряду с этим Ю. А. Билибин (1947, 1948) наметил основные принципы металлогенических исследований и высказал гипотезу о многовозрастности эндогенного оруденения, формирующегося в соответствии с этапами развития подвижных зон. Им, в частности, были выделены ранний и начальный этапы оруденения, по времени синхронные с этапом геосинклинального прогибания земной коры. В эти этапы происходит образование собственно магматических месторождений, связанных с ультрабазитами, а также медно-колчеданных и баритовых месторождений. В средний этап, совпадающий с главной фазой складчатости и внедрения батолитов, происходит образование месторождений олова, вольфрама, молибдена и частью цветных металлов. В поздний этап перехода складчатой зоны в платформу в тесной пространственной связи с региональными разрывными нарушениями, определяющими положение малых интрузий, образуются месторождения золота, сурьмы, свинца, цинка и некоторых других металлов. В конечный этап формируются месторождения флюорита и некоторые другие эндогенные образования, тяготеющие к крупным глубокопроникающим разломам.

Рассмотренная схема многоэтапного образования эндогенного оруденения была поддержана на металлогеническом совещании геологов, созванном ВСЕГЕИ в 1952 г. Это совещание высоко оценило научные и практические результаты работ по региональной металлогении и указало на необходимость при дальнейших исследованиях усилить выяснение закономерностей причинной связи распределения рудных образований с геологиче-

скими процессами, как основы для дальнейшей разработки теории рудообразования.

Однако по вопросу о многоэтапности оруденения в дальнейшем высказывались критические замечания и развернулась острая дискуссия.

В рассматриваемый период широко начали проводиться работы по составлению прогнозных и металлогенических карт различных рудных районов. В этом отношении важную роль сыграли исследования Д. И. Щербакова (1952) и предложенный им метод составления таких карт, а также работы К. И. Сатпаева (1953). Большое значение имели работы В. И. Смирнова (1947₁) и Н. М. Нехорошева (1948), которые уточнили ранее сложившиеся представления о рудных поясах и зонах в рудоносных провинциях.

СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значительные успехи были достигнуты в области изучения структур рудных полей и месторождений. Эти исследования сопровождалось детальным геологическим картированием, массовой подземной документацией и специальным изучением трещинной тектоники, в некоторых случаях с применением микроструктурного анализа. В сущности образовалось новое направление в учении о рудных месторождениях.

Среди обобщающих работ в этой области особый интерес имели: монография А. В. Пэка и Л. И. Лукина (1947), посвященная рассмотрению геологической структуры шеелитового месторождения Кти-Теберда на Северном Кавказе, изучение которого сопровождалось широким применением микроструктурного анализа; статья В. М. Крейтера (1947), в которой он впервые попытался проследить изменения строения рудносных разрывов с глубиной; А. В. Королева (1949), впервые показавшего важную роль разрывных нарушений в появлении региональной зональности в рудоносных зонах и поясах; монография Н. И. Бородаевского и М. Б. Бородаевской (1947) по структуре золоторудных лестничных жил Березовского рудного поля и ряд других работ. Ф. И. Вольфсон (1953) на базе личных исследований и с широким привлечением материалов других геологов обобщил имевшиеся к тому времени данные по структурам эндогенных месторождений и выделил 40 основных структурных типов, отличающихся условиями тектонических деформаций на рудоносных площадях до и в процессе проявления магматизма и рудообразования и литологическими особенностями вмещающих пород.

Выяснение истории развития структуры рудных полей эндогенных месторождений в ряде рудоносных районов (за исключением некоторых типов собственно магматических) показало, что в большинстве случаев рудоносные разрывы возникли зна-

чительно ранее оруденения, обычно еще в процессе складчатости, до внедрения магматических образований, а в период минерализации раскрытие этих разрывов вызывалось незначительными движениями вдоль них. Установление направления и амплитуды этих движений в каждом случае имеет крайне важное значение, так как оно способствует выяснению условий локализации рудных столбов и обогащенных участков, которые возникают прежде всего в приоткрытых участках разрывов. В ряде районов было установлено, что проявление и раскрытие рудоносных дизъюнктивных нарушений, сопряженных с крупными разломами регионального значения, обуславливается движениями блоков пород, примыкающих к последним синхронно с минералообразованием (Вольфсон, 1951).

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В послевоенное время к важнейшим работам в области изучения магматических месторождений следует отнести исследования текстур и структур хромитовых руд с выяснением условий их образования, проведенные Г. А. Соколовым (1946), и исследования зависимости состава хромшпинелидов от петрографического состава вмещающих их интрузивных пород, проведенные Н. В. Павловым. Эти исследования показали, что наиболее богатыми хромом являются хромшпинелиды, залегающие в дунитах, которые, как известно, не содержат в своем составе алюминия и трехвалентного железа, способных изоморфно входить в состав хромшпинелидов и своим нахождением уменьшать содержание хрома в этих минералах. Однако Н. В. Павлов показал, что в определенных разновидностях лерцолитов, пироксенитов и некоторых других ультраосновных пород также могут находиться богатые хромом хромшпинелиды. Все зависит от отношения алюминия к кальцию и щелочным металлам, входящим в состав этих пород. Если эти отношения не дают избыток алюминия по отношению к тому теоретическому содержанию окислов этих соединений, которые могут быть химически связаны в алюмосиликатах с щелочами, то хромшпинелиды, залегающие в таких породах, будут характеризоваться высоким содержанием хрома. В тех же остывающих массивах, где Са и Mg полностью войдут в состав кальций-магниевого силикатов, в остаточном расплаве будут накапливаться хромшпинелиды, бедные хромом.

Установленные взаимоотношения имеют важное практическое значение, так как по петрографическому и химическому составам вмещающих пород возможно правильно предсказать предполагаемый химический состав залегающих в них хромшпинелидов. Вопросом взаимосвязи химического состава

основных и ультраосновных пород с составом залегающих в них руд занимался также С. А. Кашин (1948). Пользуясь методом векториального изображения химического состава горных пород, предложенным А. Н. Заварицким, С. А. Кашин выявил петрохимические особенности основных интрузивных пород Урала, сравнив их с другими рудоносными комплексами основных пород, обнажающимися в различных районах СССР и зарубежных стран. При этом он установил, что уральские основные породы, несущие своеобразную минерализацию, представленную вкрапленными титаномагнетитовыми борнит-халькопиритовыми рудами, имеют специфический химический состав, так же как и платиноносные комплексы Урала, резко отличный от химического состава интрузивных пород Седбери, Бушвелда и других районов медно-никелевого оруденения.

Специфические петрохимические особенности интрузивных основных пород Урала заключаются в том, что габбровые породы содержат больше феррических компонентов, а также отличаются повышенным содержанием железа и относительно пониженным содержанием магния. Наряду с этим рассматриваемые породы характеризуются относительно повышенным количеством кальция в феррических минералах. Отсутствие в уральских основных породах концентрации медно-никелевого оруденения С. А. Кашин объясняет отмеченными их петрохимическими особенностями и, в частности, низким содержанием магния, так как концентрация в интрузивных породах никеля должна быть геохимически тесно связана с магнием.

Наблюдаемый на Урале парагенезис минералов (титаномагнетит, апатит, борнит, халькопирит и частично гипогенный халькозин) генетически связан с рассмотренными особыми типами интрузивных пород, характеризующими определенную петрографическую провинцию. Мировым аналогом подобных месторождений является единственное месторождение Энгельс в Калифорнии. В месторождениях Урала намечается тесная связь титаномагнетита и ассоциирующих с ним сульфидов с протектоническими элементами вмещающих материнских пород — меланократовых и других разновидностей габбро.

Исследования С. А. Кашина показали, что имевшиеся представления об образовании борнита и халькопирита из гидротермальных растворов не увязываются с новыми фактическими данными. Выяснилось, что титаномагнетитовое и борнит-халькопиритовое оруденения не связаны с зонами гидротермального изменения, вдоль которых проявляется только более поздняя пирит-халькопиритовая минерализация. Кристаллизация рудных минералов началась с выделения в небольшом количестве зерен титаномагнетита совместно с силикатами и закончилась позднее силикатов в виде ксеноморфных зерен с образованием сидеритовых структур. Совместно с титаномагнетитом началось вы-

деление небольшого количества борнита, который в главной своей массе сформировался позднее совместно с халькопиритом, образующим типичные структуры распада твердых растворов. Наряду с этим в небольшом количестве наблюдалось развитие гипогенного розовато-серого халькозина, образующего твердый раствор с борнитом.

В послевоенное время советские геологи добились значительных успехов в деле выявления условий образования сульфидных медно-никелевых месторождений (Котульский, 1948) и др. Было установлено, что эти месторождения образуются в результате внедрений интрузий определенного петрографического состава в условиях остывания их в благоприятной тектонической обстановке на платформах или щитах, способствующей резкому проявлению в интрузивных массивах первичной стратификации. Среди рассматриваемых сульфидных руд были выделены вкрапленные руды, представляющие сингенетическую магматическую вкрапленность, которая находится примерно там, где сульфиды выделялись, и эпигенетическую вкрапленность, образовавшуюся почти одновременно с первой, но располагающуюся в боковых породах обычно недалеко от контакта. По данным В. К. Котульского, наиболее часто вкрапленность сульфидов наблюдается в придонной части массивов. Такая вкрапленность и сопровождающие ее шлиры формируются несколько ранее рудной вкрапленности, расположенной в более верхних горизонтах остывающей интрузии. Последнее доказывается наличием в рудах данной вкрапленности и в рудных шлирах преобладающего пирротина, который образуется ранее халькопирита и пентландита.

Для выяснения условий образования рассматриваемой группы месторождений особый интерес представляют богатые рудные тела, локализация которых, как было показано В. К. Котульским, находится в полной связи с тектоникой интрузивных массивов. Среди таких рудных тел различают полого и крутопадающие рудные жилы и залежи.

Детальное изучение структуры крутопадающих жил показало, что они приурочены к системе тектонических трещин, вытянутых вдоль оси интрузива и заложённых до внедрения даек диабазов. Однако раскрытие этих трещин и внедрение рудной магмы происходит после интрузий диабазов. То же относится к пологим жильным и к рудным залежам, которые также формируются позднее диабазов. Характерно, что в некоторых рудоносных интрузивах проявляются сбросовые нарушения, сопровождаемые тектонической глиной. Нарушения эти дорудные, но в большинстве случаев в них рудные жилы отсутствуют. Лишь на отдельных интервалах в них встречается руда в виде небольших скоплений, характеризующихся развитием крупнозернистого пентландита. Все отмеченные соотношения показывают, что

рудная магма, отделившаяся путем ликвации от силикатной, весьма длительное время находилась в жидком (т. е. в подвижном) состоянии — до внедрения в раскрывшиеся трещины, вдоль которых и сформировались рудные тела.

Характерной особенностью многих рудных залежей является многоэтапность их развития. При этом в некоторых месторождениях наблюдаются три этапа минерализации: 1) пирротин-пентландитовый, проявленный в интрузивном массиве, частью во вмещающих породах; 2) пирротин-пентландит-халькопиритовый и 3) пирротин-пентландит-халькопиритовый в кварцево-карбонатных жилах. Последний уже, видимо, является гидротермальным.

Рассматривая общие вопросы формирования медно-никелевых месторождений, В. К. Котульский впервые высказал гипотезу абиссальной ликвации. По его представлениям, вкрапленные и сплошные руды различаются не только в морфологическом отношении, но и по условиям образования. По мнению В. К. Котульского, ликвация сульфидов началась в магматическом очаге по мере понижения температуры расплава (магматическая дифференциация). Накоплению сплошных сульфидов способствовала контаминация магматическим расплавом кислых пород, приводившая к уменьшению растворимости сульфидов в нем. При этом первые выделившиеся на глубине сульфиды обычно оказывались более богаты железом, по сравнению с сульфидами, оставшимися в растворе. Внедрение магматических расплавов и рудной фракции в верхние горизонты могло происходить разными способами в зависимости от геологических и тектонических условий. В одних случаях внедрялась одна силикатная магма, которая продолжала дифференцироваться, и в результате происходила ликвация и образование придонной вкрапленности. В других случаях внедрялась силикатная магма, которая захватывала с собой отделившуюся путем ликвации на глубине сульфидную фракцию; но в этих условиях сульфиды образовывали шпирсы или, если внедрение происходило в условиях бокового давления, наклонные и крутые залежи. В. К. Котульский отмечал, что после остывания и затвердения первой порции силикатной магмы, в условиях продолжающейся тектонической деятельности обычно происходило внедрение безрудной силикатной магмы, например, гранитоидной или диабазовой. Вслед за этим из глубин внедрялись новые фракции сплошных сульфидных руд, имеющие наиболее важное промышленное значение. В. К. Котульский различает два возможных способа таких внедрений: 1) сульфидные образования интродуцируют совместно с более кислой магмой, обычно при напряженной тектонической обстановке, образуя краевые залежи, 2) жидкие сульфидные массы внедряются самостоятельно, при слабой тектонической деятельности, образуя жилы.

Кристаллизационную дифференциацию сульфидов, приводящую к конечным продуктам, богатым летучими, В. К. Котульский относит к пневматолитовым и гидротермальным образованиям. Он считает, что сульфидные капли кристаллизуются как замкнутые системы и в конечные стадии они выделяют летучие, реагирующие со стенками, образуя реакционные шлиры. Согласно В. К. Котульскому, сульфидная магма имела высокую температуру и при относительно высокой температуре формировались и сульфидные жилы.

Из изложенного следует, что В. К. Котульским была разработана достаточно стройная теория формирования медно-никелевых месторождений магматического происхождения, которая базировалась на большом фактическом материале.

По вопросу об условиях формирования характеризующих месторождений интересные идеи были высказаны также А. Г. Бетехтиным (1953₁). Согласно его представлениям, сульфидные массы, отделившиеся от материнского расплава еще в ранний магматический период, весьма длительное время, вплоть до момента инъекции, сохранялись в жидком состоянии, чему способствовала достаточно высокая температура пород на глубине. А. Г. Бетехтин пришел к выводу, что температура начала кристаллизации сульфидов едва ли превышала 300°, т. е. она приближалась к температуре формирования гидротермальных месторождений. Вместе с тем А. Г. Бетехтин подчеркивал, что рудообразующая среда не представляла собой гидротермальный раствор. Это зависит от того, что характеризующие месторождения возникают в глубинных условиях. В близповерхностных месторождениях иная картина. Здесь имеет место наложение последующих более низкотемпературных ассоциаций (с виоларитом, никелистым пиритом, миллеритом и др.), возникающих в условиях повышенной концентрации серы в остаточных растворах. Для одной и той же жилы могут иметь место переходы от типичных пирротин-пентландит-халькопиритовых руд к пирит-миллеритовым рудам, необычным для месторождений медно-никелевых сульфидных руд.

Новые данные были получены и в результате проведения ряда экспериментальных работ в области явления ликвации сульфид-силикатного расплава. В этом отношении исключительно важное значение имели исследования Я. И. Ольшанского (1947, 1950₁, 1950₂), окончательно установившего ограниченную смешимость системы сульфид железа — силикат. Наряду с этим Я. И. Ольшанский своими экспериментальными исследованиями показал, что растворимость пирротина в расплаве силиката увеличивается по мере увеличения температуры расплава и содержания FeO в нем. В то же время растворимость пирротина уменьшается по мере понижения температуры расплава и увеличения в нем SiO₂, CaO, Al₂O₃ и Na₂O. Наличие определенных

количество этих компонентов приводит к ликвации расплава на силикат и сульфид. При этом расплавленный сульфид обладает исключительно большой текучестью (смачиваемостью), значительно превышающей текучесть воды. Возможно, что поднятие рудной магмы в поздние стадии становления рудоносных интрузивов и связано с этими особыми свойствами остаточного сульфидного расплава.

Все изложенное выше показывает, что работы советских геологов в послевосенный период позволили значительно глубже понять условия формирования магматических месторождений.

ПЕГМАТИТЫ

Изучение процессов формирования пегматитов шло в направлении дальнейшего детального исследования их минералогии и геохимии, которое проводилось наряду с широким развертыванием геологической съемки и структурного изучения ряда пегматитовых полей и районов. Полученные новые данные позволили уточнить имевшиеся представления по условиям образования пегматитов и их классификации.

А. Н. Заварицкий (1947) пришел к выводу, что пегматиты представляют собой промежуточные образования между изверженными породами и рудными жилами. Согласно его представлениям, в образовании пегматитов важную роль играют остаточные газовые растворы, которые возникают на определенной стадии развития магмы в результате ретроградного кипения. Под воздействием этой газовой фазы происходит перекристаллизация пород, преимущественно жильных, с образованием крупнозернистых масс. Последующие процессы замещения (альбитизация и др.) протекают уже в гидротермальный этап.

Детальные минералого-геохимические исследования позволили К. А. Власову (1952) разработать новую классификацию гранитных пегматитов, основанную на их структурно-текстурных особенностях. В общей сложности К. А. Власов выделил четыре типа пегматитов, каждый из которых характеризуется определенным парагенезисом породообразующих и аксессуарных минералов, сформировавшихся в одну или несколько стадий пегматитового процесса с присущими им структурно-текстурными особенностями.

Первый тип пегматитов — графический и равномернозернистый. Слагается пегматитами письменной или равномернозернистой гранитной структуры. Кали-натровые полевые шпаты и кварц кристаллизуются близко, одновременно и пространственно не разобщены. Явлений замещения в этих пегматитах не наблюдается, так же как и сколько-нибудь заметной концентрации редких минералов.

Второй тип — блоковый, характеризующийся развитием зон. Внешняя зона представлена пегматитом письменной или гранитной структуры. Центральная — слагается крупными кристаллами кали-натровых полевых шпатов и блоков кварца. Первые из них частично замещаются слюдой и альбитом и содержат редкометалльные минералы, такие как сподумен, берилл, касситерит, ниобо-танталаты и др. Чаще эти минералы связаны с кварцем и выделяются ранее его.

Третий тип — полнодифференцированный. Содержит три зоны: внешнюю, слагающуюся пегматитом письменной или гранитной структуры; среднюю, включающую в своем составе кали-натровые полевые шпаты — микроклин, иногда олигоклаз; центральную, сложенную кварцем, часто ассоциирующим с марганцевыми соединениями. Редкометалльные минералы, нередко достигающие высокой концентрации, приурочены к контактам зон кали-натровых полевых шпатов и кварца, но основное их количество залегает в последнем. Местами танталит, берилл и некоторые другие минералы залегают в кали-натровом полево шпате и выделяются ранее позднего микроклина. Явления замещения в этом типе распространены достаточно широко.

Четвертый тип — редкометалльнозамещенный. Содержит те же три зоны, что и третий, но в нем выделяется четвертая зона — замещения. Она сложена альбитом, обычно, клевеландитом, мусковитом и поздним кварцем. Редкометалльные минералы: берилл, ниобо-танталаты, касситерит, фосфаты лития, марганца и др. принимают существенное участие в строении пегматитов и ассоциируют с кварцем, либо развиты в зоне замещения.

Все выделенные К. А. Власовым типы пегматитов представлены едиными минеральными образованиями, отличающимися интенсивностью дифференциации порообразующих минералов на зоны, интенсивностью процессов замещения, а также относительным содержанием редкометалльных минералов. При этом первый и четвертый типы пегматитов представляют собой крайние члены постепенно развивающегося минерального ряда. Сами же пегматиты, по К. А. Власову, образуются из остаточных магматических расплавов, обогащенных летучими.

Ближних взглядов на условия образования и классификацию пегматитов придерживается А. А. Беус (1951). В то же время он показывает, что в гранитных пегматитах широко проявляется горизонтальная и вертикальная зональность. Зоны пегматитов, по А. А. Беусу, представляют собой пространственные обособления минеральных агрегатов в пегматитовом теле, являющиеся производными определенной стадии пегматитового процесса. В гранитных пегматитах «чистой линии», по А. А. Беусу, может быть выделено одиннадцать наиболее характерных зон, находящихся в совершенно определенных взаимоотношениях. Из них семь — это зоны первичной кристаллизации: а) пегмати-

тового гранита, б) аплитовая, в) графическая, г) средне- и грубозернистая кварцево-полевошпатная, д) блокового полевого шпата, е) блокового кварца и кварцево-сподуменовая, и четыре — зоны замещения: ж) мусковитовая, з) альбитовая, и) лепидолитовая, к) грейзеновая, развивающиеся по ранее образовавшимся зонам.

На ряде примеров А. А. Беус показывает, что отмеченная зональность в небольших рудных телах может проявляться на относительно небольших интервалах, в то время как в крупных жилах и некоторых трубах размах отдельных зон может достигать значительных размеров. Изучение наблюдаемой зональности позволило А. А. Беусу показать, что пегматиты формируются из остаточных расплавов, которые представляли собой замкнутые системы, независимо от размеров отдельных тел. Проведенные исследования подтверждают основные положения А. Е. Ферсмана об условиях формирования гранитных пегматитов.

Другой точки зрения придерживается В. Д. Никитин (1952), произволивший детальное изучение слюдяных пегматитов. Он приходит к выводу, что гранитные пегматиты начиная от третьей группы и далее (по классификации А. Е. Ферсмана) представляют собой метасоматические образования, сформированные путем воздействия послемагматических растворов на кислые породы жильной фации.

Для объективного суждения о правильности этих различных точек зрения на условия образования гранитных пегматитов представляет интерес рассмотреть работы геологов, изучающих не только минералогию и геохимию пегматитов, но также их геологию и структуры.

А. И. Гинзбург (1952) показал, что строение пегматитов и развитие в них тех или иных зон зависит от тектонических условий их формирования. Соответственно все пегматитовые залежи он делит на три типа.

Первый тип — шлировые пегматиты, развитые внутри самих гранитов и формирующиеся в спокойной тектонической обстановке. У этих пегматитов отсутствуют резкие контакты с вмещающими породами и наблюдается постепенный переход от гранита в среднезернистый пегматит, при выпадении аплитовой оторочки.

Второй тип — эпигенетические (выжатые) пегматиты, кристаллизующиеся в спокойной тектонической обстановке. Для этого типа характерна зональность, показанная К. А. Власовым и А. А. Беусом, которая подтверждается с некоторыми изменениями и наблюдениями А. И. Гинзбурга.

Третий тип — эпигенетические (выжатые) пегматиты, кристаллизующиеся в условиях часто меняющегося давления и приуроченные к тектоническим зонам. В этом типе пегматитов, обычно приуроченном к трещинам скалывания, зональность по

существо не проявлена. В них наблюдается пестрое изменение фациальности, со спорадическим развитием мелкозернистых и блоковых участков при отсутствии либо слабом развитии зон с письменной структурой. Для этого типа пегматитов характерна закономерная ориентировка кристаллов сподумена, расположенных под углом $60-70^\circ$ к контакту. В качестве определенного признака для данного типа пегматитов необходимо указать на отсутствие в них миаролитовых пустот, а также на многоэтапность их развития. Последняя особенность наиболее детально охарактеризована В. И. Кузнецовым (1948), доказавшим, что формирование пегматитов происходит путем раскристаллизации последовательно внедряющихся порций магматического расплава на фоне раскрявывающихся трещин.

А. И. Гинзбург и некоторые другие геологи показали, что на многих месторождениях удастся однозначно доказать, что пегматиты образуются путем внедрения их в полости, вызывающего формирование микроскладчатости вокруг пегматитовых тел. Наряду с этим В. И. Кузнецов (1948) и другие выявляют сходные морфологические черты многих пегматитов и даек интрузивных пород.

Анализ всех этих наблюдений приводит к выводу, что пегматиты первого и второго типов, по А. И. Гинзбургу, образовались путем кристаллизации внедряющегося в трещины остаточного пегматитового расплава, обогащенного летучими. Вместе с тем советские геологи показали, что местами наблюдаются пегматиты, образующиеся путем перекристаллизации пород под воздействием послемагматических растворов. Однако эти пегматиты не содержат в своем составе редких минералов.

Краткий обзор главнейших исследований в области выяснения генезиса пегматитов, проведенных в нашей стране в послевоенные годы, показывает, что учение о пегматитах, разработанное А. Е. Ферсманом, все более крепло и развивалось.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Среди многочисленных исследований в области учения о гидротермальных месторождениях в рассматриваемый период особо важное значение приобрели работы по выявлению механизма отщепления растворов от магматического очага, выяснению природы рудоносных растворов и причин их движения в верхние части земной коры. Много интересных сведений было также опубликовано по вопросу об источнике оруденения и по проблеме генетической связи оруденения с массивами изверженных пород. В рассматриваемый период появились работы, посвященные классификации гидротермальных месторождений и особенно много внимания было уделено подробному рассмотрению геологии месторождений большинства металлов.

В. А. Николаев (1953), анализируя вопрос об этапах глубинного магматического процесса и о тройных системах с летучими компонентами, обратил внимание на важность систем смешанного типа, отличающихся наряду с содержанием H_2O и нелетучего силиката наличием особого компонента (с), представленного легко растворимыми в воде, но малолетучими соединениями (силикатами щелочей, галоидными соединениями и др.). В результате теоретического разбора этих систем В. А. Николаев пришел к важному выводу: «отделение газовой фазы при кристаллизации глубинных магм вовсе не исключает возможности непрерывного существования жидкой фазы на всем температурном интервале кристаллизации с постепенным переходом ее от расплава к гидротермальному раствору». При этом он подчеркнул важное значение пневматолитового этапа, следующего после окончания кристаллизации магматического расплава.

Анализируя вопрос о природе рудоносных растворов, А. Г. Бетехтин (1953₁) пришел к выводу, что при высоких температурах в растворах, содержащих сероводород, металлы могут переноситься в виде хлоридов. Особенность этих растворов заключается в том, что кристаллизация из них сульфидов происходит не в результате изменения температуры или испарения растворителя, а вследствие химических реакций, протекающих в растворе. В химических реакциях принимает участие не H_2S как таковой, а продукты его электролитической диссоциации в водных растворах, в частности анионы S^{2-} и $[S_2]^{2-}$. Концентрация анионов серы в растворах должна была возрастать по мере их охлаждения, поскольку в связи с этим увеличивается растворимость сероводорода и его электролитическая диссоциация. Согласно А. Г. Бетехтину, осаждение сульфидов из гидротермальных растворов должно происходить не сразу, а по достижении некоторой определенной концентрации в них анионов серы.

Значительный интерес у советских геологов вызвал также анализ причин движения рудоносных растворов по трещинам. А. Г. Бетехтин (1953₂) подверг критическому рассмотрению представления американских геологов по этому вопросу и высказал гипотезу, что рудоносные растворы проникают в верхние горизонты коры в связи с разницей давления.

Работы советских геологов, изучающих гидротермальные месторождения различного возраста и в различной геологической обстановке, показали, что генетическая связь оруденения с массивами изверженных пород не может быть объяснена с точки зрения широко распространенной за рубежом «батолитовой» концепции Эммонса. Вместе с тем советские геологи отвергли гипотезы ряда зарубежных исследователей, которые вообще отрицают наличие генетической связи гидротермальных место-

рождений с массивами изверженных пород считают, что образование этих месторождений идет за счет энергии подкоровых глубин.

Советские геологи показали, что генетические связи гидротермальных месторождений с интрузивными породами существуют, но их формы значительно сложнее и разнообразнее, чем это ранее предполагалось. М. Б. Бородаевская, Ю. А. Билибин и ряд других исследователей подчеркивали, что имеет место ассоциация гидротермального оруденения не только с крупными интрузивными массивами, но и с малыми интрузиями, с которыми оно находится в парагенетической связи.

С. С. Смирнов (1947₁) отмечал, что трудность решения рассматриваемого вопроса связана с формированием основных порций рудоносных растворов в глубинных «корневых частях рудоносного магматического комплекса». Он подчеркивал, что между моментом полной кристаллизации обнаженных ныне частей интрузивов и моментом подъема рудоносных растворов произошло внедрение сложной серии даек интрузивных пород. При этом в большинстве случаев до процессов рудообразования крупные массивы гранитоидов успевали закристаллизоваться на значительную глубину, на что, в частности, указывают зоны закалки, наблюдаемые в дорудных дайках.

С. С. Смирнов предложил схему, увязывающую пространственные соотношения различных типов месторождений с различными глубинными фациями магматических пород. Он выделил в земной коре верхнюю, среднюю и нижнюю зоны развития оруденения и показал особое значение средней зоны, для которой характерно максимальное развитие разнообразных рудных месторождений. В сущности С. С. Смирнов высказал важную идею о необходимости рассмотрения условий развития эндогенного оруденения в различных структурных этажах земной коры. Эта идея в дальнейшем была глубоко проанализирована Ю. А. Би-

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

А. Г. БЕТЕХТИН, Ф. И. ВОЛЬФСОН,
А. И. ЗАВАРИЦКИЙ, Д. С. КОРЖИНСКИЙ,
О. Д. ЛЕВИЦКИЙ, В. А. НИКОЛАЕВ

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В УЧЕНИИ О МАГМАТОГЕННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА-1953

Титульный лист книги А. Г. Бетехтина и др. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях»

либиным и в настоящее время развивается многими геологами. Детальные исследования, произведенные многими советскими геологами в различных рудных районах, подтвердили и в значительной степени развили основные положения С. С. Смирнова по вопросу о генетической связи оруденения гидротермальных месторождений с интрузивными породами.

А. В. Пэк (1950), Ф. И. Вольфсон (1952), Ив. Ф. Григорьев (1953) и другие показали, что в ряде рудных районов дайки жильных пород, пересекающие крупные массивы гранитоидов и внедрившиеся до рудообразования, не только «в своих краевых призальбандовых частях имеют более плотную, более тонкозернистую структуру, чем в центральных участках», как считает С. С. Смирнов (1947₁), но и выполняют трещины, сформировавшиеся при иных тектонических деформациях, чем трещины, выполненные гидротермальными рудными жилами.

О. С. Полквой (1950), В. С. Коптев-Дворников (1952), Ф. К. Шипулин (1950), М. А. Фаворская, Н. И. Соустов, И. Е. Сморгчов и другие на примере различных районов показали, что оруденение полиметаллических и некоторых других гидротермальных месторождений формируется позднее не только ранних, но и более молодых даек второго этапа, не связанных с крупными гранитными массивами, а являющимися образованиями более поздней магматической деятельности.

Исключительно интересные данные были получены в результате применения минералогических и геохимических критериев для выяснения генетической связи оруденения гидротермальных месторождений с интрузивными породами. Было установлено, что для ряда высокотемпературных гидротермальных месторождений, сопровождаемых грейзенами и частью связанных со скарнами, удается доказать наличие генетической связи оруденения с определенными интрузивными комплексами и даже массивами. При этом исследования С. Д. Попова и других показали, что в таких случаях среди аксессуарных минералов рудоносных гранитоидов присутствуют те же рудные минералы, что и в рудных жилах.

Детальное изучение тяжелой фракции интрузивных массивов с определением времени формирования некоторых минералов (радиоактивным методом) позволило И. Е. Сморгчову достаточно точно определить возраст ряда месторождений, связанных с этими массивами.

О. Д. Левицкий указывал, что наличие общих минералов в интрузивных массивах, пегматитовых и рудных жилах, таких как амазонит, топаз, касситерит и др. свидетельствует о генетической связи между этими образованиями.

Наряду с отмеченными методами выявления критериев генетической связи оруденения с интрузивными массивами большие надежды в последнее время возлагаются на метод изучения изо-

топов различных элементов в рудо- и породообразующих минералах. Естественно, все эти методы немыслимы без детального геологического картирования, целью которого является установление действительных взаимоотношений как между отдельными породами, так и их комплексами на фоне развития региональной и местной тектоники.

А. Г. Бетехтин (1953₃), суммируя данные, собранные советскими геологами по вопросу генетической связи оруденения с массивами изверженных пород, показывает, что современное состояние наших знаний о пространственной и генетической связи типичных гидротермальных месторождений с интрузивными магматическими образованиями, а также степень достоверности этой связи, позволяет разбить эти месторождения на три большие группы.

К первой из них относятся те гидротермальные месторождения, которые залегают либо в самих материнских породах (рудоносные грейзены, вкрапленные медно-сульфидные руды в кислых порфириновых породах и др.), либо в непосредственной близости от них (кварц-касситеритовые, кварц-вольфрамитовые и другие месторождения). Генетическая связь этих месторождений с определенными материнскими породами не вызывает сомнений и может быть доказана.

Во вторую группу входят многочисленные жильные и метасоматические месторождения свинца, цинка, серебра, золота, меди и других металлов. По геологическим данным, источники оруденения для этой обширной группы месторождений мы можем предположительно связывать с интрузиями более или менее кислого состава. Однако непосредственную связь с какими-либо определенными дериватами этих интрузий в большинстве случаев выявить не удается.

Третья группа охватывает такие месторождения, для которых генетическую связь с какими-либо интрузиями вообще не удается установить. В районах, где они распространены, часто вовсе отсутствуют выходы изверженных пород или встречающиеся выходы не имеют отношения к оруденению.

Ф. И. Вольфсон (1952) высказал предположение, что к первой группе относятся те гидротермальные месторождения, которые формируются в ранние стадии становления магматических массивов до внедрения жильной фации пород. Все остальные гидротермальные месторождения формируются после внедрения жильных пород и относятся ко второй и третьей группам.

Х. М. Абдуллаев (1950, 1951) придавал большое значение ассимиляционной специализации магмы при формировании гидротермальных месторождений и часть этих месторождений связывал с конкретными выходами массивов гранитоидов. Эти представления, которые подверг критике А. Г. Бетехтин (1953₃), не нашли поддержки среди широких кругов геологов.

В связи с обсуждением вопросов генетической связи оруденения гидротермальных месторождений с массивами изверженных пород С. С. Смирнов (1947₁) и другие исследователи подвергли серьезной критике существующие классификации гидротермальных месторождений Линдгрена, Ниггли и других и сделали попытку создать новую систематику этих месторождений. Общий контур будущей классификации был намечен С. С. Смирновым (1947₂). По его представлению, в основу классификации должны быть положены следующие принципы: 1) характер физико-химической системы, породившей руды, 2) рудные формации (выделенные по химико-минералогическим особенностям), 3) глубины образования месторождений, 4) температуры главной стадии рудообразования. «В будущем,— указывает С. С. Смирнов,— когда удастся произвести более дробное, обоснованное выделение комплекса пород с присущим каждому из них комплексом месторождений, во главу угла должны быть, по нашему мнению, поставлены именно эти комплексы». Базируясь на этих принципах, П. М. Татаринев и И. Г. Магакян (1949) сделали попытку разработать новую генетическую классификацию гидротермальных месторождений. В основу этой классификации был положен фактор глубины формирования месторождений (малая — до 1 км, умеренная — 1—3 км и значительная — более 3 км), температура процессов рудообразования, а также рудные ассоциации и формации. Отмеченная классификация привлекла к себе внимание исследователей, но недостатком ее являлось отсутствие надежных критериев для определения глубины формирования месторождений.

В 1953 г. Ф. И. Вольфсон предложил геологическую классификацию гидротермальных месторождений. Согласно этой классификации отдельные группы месторождений следует выделять по отношению оруденения ко времени становления материнских интрузивных массивов, а типы месторождений в этих группах — по составу гидротермальных изменений вмещающих пород.

Х. М. Абдуллаев (1950) сделал попытку выделить генетические ряды в зависимости от состава вмещающих пород, ассимилированных материнскими интрузиями.

Е. Е. Захаров (1953) за основу своей классификации принял рудные формации, которые он рассматривает несколько шире, чем С. С. Смирнов¹. Для каждой определенной рудной формации Е. Е. Захаров дает характеристику геологических условий залегания. Он выделяет более двухсот рудных формаций для рудных и нерудных месторождений.

¹ С. С. Смирнов под рудной формацией понимает «группу эндогенных рудных образований, объединенных общностью минерального состава, генетических особенностей, геологических условий проявления и сходным экономическим значением».

Не останавливаясь на рассмотрении некоторых других классификаций гидротермальных месторождений, предложенных советскими геологами в рассматриваемый период, можно лишь отметить, что общим для них является введение в число основных классификационных признаков геологических условий формирования месторождений.

ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Разработанное С. С. Смирновым учение об оловорудных месторождениях было развито и углублено О. Д. Левицким, Б. М. Косовым, Е. А. Радкевич, Я. Д. Готманом, М. Ф. Стрелкиным, И. Ф. Григорьевым, Е. И. Доломановой и другими геологами. Основные вопросы этого учения были опубликованы в известной книге «Геология олова», вышедшей под редакцией С. С. Смирнова в 1947 г.

Было установлено, что месторождения касситерит-пегматитовой и касситерит-кварцевой групп находятся в генетической связи с кислыми и ультракислыми массивами гранитов, а месторождения касситерит-сульфидной группы пространственно связаны с относительно слабо дифференцированными интрузивами и наблюдаются в районах, характеризующихся проявлением крупных нарушений.

Среди касситерит-сульфидных месторождений, имеющих особо важное промышленное значение, были выделены своеобразные близповерхностные образования с характерными колломорфными текстурами руд, указывающими на кристаллизацию их из коллоидных растворов.

Много работ было посвящено изучению вольфрамовых и молибденовых месторождений. Проводилось детальное изучение геологической структуры, вещественного состава руд и условий образования шеелитовых и частью шеелит-молибденовых месторождений скарновой формации. Детальные исследования А. В. Пэка, Н. В. Нечелюстова, В. С. Мясникова и Х. М. Абдуллаева (1947) позволили установить место шеелита в общем ходе развития процесса скарнообразования и рудоотложения. Выяснено, что часть шеелита выделялась близко одновременно со скарновыми минералами, приурочиваясь к заключительной стадии процесса скарнообразования, часть же шеелита отлагалась позднее в ассоциации с кварцем.

Благодаря исследованиям Н. А. Смольянинова, О. Д. Левицкого, Ф. В. Чухрова, А. В. Дружинина и других значительные достижения были получены в области изучения месторождений кварцево-вольфрамитовой и кварцево-молибденовой формаций. Разработана классификация этих месторождений и установлено, что источником оруденения вольфрамитовых и многих молибденовых месторождений являются, в отличие от шеелитоносных

скарнов, нормальные и кислые граниты, которые отличаются сложным многофазным развитием. При этом оруденение генетически связано с наиболее поздними отщеплениями гранитной магмы.

На примерах многих месторождений доказано экранирующее влияние пород кровли рудоносных интрузивов, определяющее особую насыщенность вольфрамом и частью молибденом при контактовых зонах гранитных тел. По-новому были разработаны вопросы зональности молибденового и вольфрамового оруденения, вызванного многостадийностью процесса минералообразования. Было отвергнуто представление о постоянной смене на глубине марганцовистого вольфрамита (гюбнерита) железистым вольфрамитом (ферберитом), появление которого ранее рассматривалось как показатель быстрого истощения оруденения с глубиной. Доказано, что проявление гюбнерита связано с общими геохимическими особенностями рудоносных провинций и что в некоторых районах даже наиболее высокотемпературные месторождения представлены гюбнеритовыми рудными телами. Вместе с тем было установлено, что ферберит наиболее характерен для специфических близповерхностных низкотемпературных месторождений, где этот минерал ассоциирует с антимонитом и халцедоновидным кварцем.

Значительно углубились представления по геологии сурьмы и ртути. Благодаря работам Н. М. Синицина (1948) была уточнена роль разрывных нарушений в локализации сурьмяно-ртутного оруденения в пределах Южно-Ферганского пояса. В. И. Смирнов (1947₂) выдвинул понятие о структурных ловушках, доказал многостадийность формирования сурьмяно-ртутных месторождений и проанализировал поисковые критерии на сурьмяно-ртутное оруденение в Средней Азии. В. А. Невский (1948, 1949) выяснил роль складчатых структур, в частности блокированных складок, в локализации сурьмяно-ртутных рудных тел. Значительно углубились общие представления о геохимии ртути благодаря исследованиям А. А. Саукова (1946), разработавшего метод определения малых количеств ртути, что позволило в дальнейшем при поисках ртутных месторождений широко использовать первичные ореолы рассеивания.

Большие успехи были достигнуты при изучении золоторудных месторождений и особенно среднетемпературных их представителей, развитых в дайках интрузивных пород преимущественно кислого состава и образующих так называемые лестничные жилы. Благодаря исследованиям Н. И. Бородаевского и М. Б. Бородаевской (1947), а также А. И. Иванова, П. И. Кутюхина, М. И. Коньчева и других был выяснен механизм образования трещин внутри рудоносных даек и показано, что сами эти дайки внедрялись в обстановке растяжения и выполняли трещины отрыва. Рудообразование протекало в обстановке тангенциаль-

ного сжатия, вызывающего пластические деформации во вмещающих сланцевых толщах и хрупкую деформацию в более жестких дайках. Большое количество различно ориентированных и особенно поперечных трещин, возникающих в этих дайках, послужило причиной того, что последние в сущности сыграли роль своеобразных рудопроводящих и рудораспределяющих каналов. Таким образом, было выяснено, что источником оруденения служили не сами рудоносные дайки, а глубинные части более крупных интрузивных массивов.

В рассматриваемый период особый интерес вызывали исследования по выяснению условий образования месторождений цветных металлов.

Детальное изучение Турьинских медных месторождений, проведенное Д. С. Коржинским (1948), показало широкое развитие биметасоматических процессов при формировании скарнов и связанных с ними руд. При этом была выявлена важная роль тектонических элементов в распределении оруденения. Общей причиной приуроченности оруденения к скарнам является химическая неустойчивость последних по отношению к гидротермальным растворам.

Для размещения медного оруденения имеет значение высокое содержание в скарнах железа, что благоприятствовало кристаллизации халькопирита.

Т. Н. Шадлун и другие проводили углубленные исследования на колчеданных месторождениях Урала и других районов, которые подтвердили проявление интенсивного метаморфизма руд многих из этих месторождений. Детальные наблюдения многих геологов, изучавших и разведывавших эти месторождения, показали приуроченность отдельных рудных тел к тектоническим нарушениям, совпадающим с направлением первичной стратификации эффузивов, либо секущим ее.

А. Г. Бетехтин

МИНЕРАЛОГИЯ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА - 1949

Титульный лист книги А. Г. Бетехтина
«Минералогия»

Изучение медистых песчаников Джекказганского типа привело к сбору противоречивых данных для решения вопроса об их генезисе. В результате в литературе нашли отражение два представления по условиям образования этих месторождений.

Г. Г. Гудалин, В. М. Попов и др., учитывая пластовую форму рудных тел и развитие оруденения в определенных фациальных условиях, высказали мнение об осадочном происхождении этих месторождений.

К. И. Сатпаев и большая часть геологов, участвующих в разведке Джекказганского месторождения и в геологическом обслуживании эксплуатационных работ, по-прежнему придерживались представлений о гидротермальном происхождении этого месторождения. Они обосновывали это представление фактом постепенного уменьшения оруденения в пластах по мере удаления от зон трещиноватости, развитых в перегибах этих пластов, а также многостадийным проявлением минерализации. Важные исследования были проведены на свинцово-цинковых месторождениях и особенно на их высокотемпературных представителях скарновой формации. Е. А. Радкевич¹ и Ф. И. Вольфсон (1951) выделили среди этих месторождений ряд структурных типов, в том числе раздробленные минерализованные зоны на тектоническом контакте гранитоидов и известняков, а также трубообразные рудные тела в карбонатных породах на пересечении, сочленении, либо искривлении сколовых нарушений. Наряду с этим было доказано многостадийное формирование скарнов и связанных с ними руд, сменяющихся по мере развития процессов минералообразования выделением кварца и карбонатов в ассоциации с более поздним галенитом и сфалеритом.

Ряд новых ценных данных был собран по геологии средне-температурных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в силикатных и карбонатных породах. В частности, на примере изучения свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья (Н. С. Горшков и др.) и Алтая были получены сведения о роли крупных разрывных нарушений в размещении рудных полей и месторождений.

Генезис низкотемпературных телетермальных свинцово-цинковых месторождений в известняках подвергался широкой дискуссии. Ряд исследователей — В. М. Попов (1951), а также М. М. Константинов, П. С. Саакян и другие, учитывая пластовую форму этих месторождений, высказали предположение об их осадочном происхождении. В. И. Смирнов (1952), А. Г. Бетехтин (1954) и большинство других геологов, участвовавших в разведке и изучении этих месторождений, придерживались представлений о гидротермальном происхождении и выступили в печати с критикой гипотезы осадочного генезиса. Они обосно-

¹ См. литературу пятого периода.

вывали свои критические замечания наблюдаемой парагенетической ассоциацией галенита и сфалерита с жильными минералами, интенсивным окологрудным изменением вмещающих карбонатных пород, а также приуроченностью рудных тел к пластовым и секущим дизъюнктивным нарушениям, на примерах Ачисайского, Миргалимсайского, Брзышхинского и других месторождений.

Однако вопрос о возможности выявления промышленных свинцово-цинковых месторождений осадочного происхождения с повестки дня не был снят, так как развитие экзогенного галенита и сфалерита в некоторых осадочных породах, углях и других образованиях неоднократно отмечался.

Успехи в изучении эндогенных железорудных месторождений в рассматриваемый период в основном лежали в области уточнения представлений об условиях образования магнетитовых месторождений, связанных со скарнами, и частью сидеритовых месторождений.

Детальное изучение многочисленных железорудных месторождений, связанных с гранитоидами, а также с породами трапповой формации, показало, что магнетит отлагался не только в ранние стадии минералообразования, близко одновременно с минералами скарнов, но также и в более поздние стадии в ассоциации с хлоритом и карбонатами. Дальнейшее изучение Бакальского, Абайльского и других сидеритовых месторождений в карбонатных породах подтвердило ранее высказанное представление А. Н. Заварицкого о гидротермальном происхождении этих месторождений.

ЭКЗОГЕННЫЕ И МЕТАМОРФОГЕННЫЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В вопросах геологии железных руд наиболее крупные успехи были достигнуты при изучении месторождений экзогенного происхождения. В этом отношении особый интерес представляют исследования Н. М. Страхова (1947) и его учеников, посвященные выявлению историко-геологических закономерностей образования железных руд.

Развивая и углубляя работы, начатые в предыдущие периоды, и широко применяя сравнительное сопоставление современных и древних осадков, Н. М. Страхов достиг значительных научных результатов в выявлении закономерностей размещения железорудных месторождений. В частности, новыми наблюдениями было полностью подтверждено ранее высказанное представление об образовании сидеритовых руд в связи с развитием параличских угленосных бассейнов и локализации сидеритовых конкреций в подошве угольных пластов, в их кровле и частью путем замещения участков самого пласта.

Физико-географическая обстановка возникновения рассматриваемых руд определяется общими условиями накопления паралических угленосных толщ, которые возникают на низменных прибрежных равнинах, то заливающихся мелким морем, то освобождающихся от него и превращающихся в болотистую низину. Сама железная руда возникает в илистом осадке в процессе диагенеза в результате миграций и перераспределения железа. Н. М. Страхов показал, что сидеритовые руды могут возникать в черных глинах глубоководных фаций, где процессы диагенеза сопровождаются восстановлением различных соединений железа и образованием сидерита в присутствии углекислоты.

Накопление наиболее важных в промышленном отношении осадочных оолитовых руд железа гематит-шамозит-сидеритового состава происходит в прибрежно-морских условиях в разнообразных фациях от песчаников до известняков в верхней прибрежной части шельфа.

Анализируя вновь полученные данные, Н. М. Страхов подтвердил высказанное им представление о переносе железа с континента не крупными реками, как это предполагалось ранее, а небольшими реками, мелкими ручьями и прямым высачиванием на дно бассейна. Разрабатывая новую гипотезу, Н. М. Страхов показал несостоятельность так называемого гальмиролитического способа образования морских руд, высказанного Гуммелем, предполагавшим подводное выветривание.

В выяснении вопросов формирования осадочных руд железа важными были также исследования Б. П. Кротова (1953_{1,2}). Базируясь на данных Б. Б. Польшова и А. Е. Ферсмана об относительной миграционной способности элементов в зоне гипергенеза и учитывая наблюдаемые парагенезисы минералов в осадочных месторождениях, Б. П. Кротов делит весь процесс выветривания и формирования экзогенных месторождений на ряд этапов и стадий. Формирование экзогенных руд марганца, железа, алюминия и титана обусловливается способностью этих элементов накапливаться в коре выветривания. Продукты ее могут выноситься лишь при условии изменения климата.

Отмеченные металлы, накопившиеся в коре выветривания в условиях изменившегося климата, являются источником руденосных растворов и дают начало месторождениям оолитовых железных, а также марганцевых руд и бокситов, в прибрежных частях трансгрессирующих на платформы морей. Возникая вдоль берегов в виде поясов, такие месторождения по мере продвижения трансгрессии на сушу передвигаются вслед за наступающей береговой линией и дают наиболее крупные концентрации руд у границ распространения трансгрессий на древние платформы. При этом месторождения на платформах образуются в условиях теплого влажного климата, который сменял теплый полусухой с чередующимися сухими и дождливыми периодами.

Б. П. Кротов обратил внимание на различные условия образования слабоуплотненных и сцементированных оолитовых руд. Первые из них накапливаются в прибрежной зоне трансгрессирующих морей. Сцементированные оолитовые железные руды образуются в заливах, далеко внедряющихся в сушу и нередко отделившихся от нее цепью островов. При этом от берега в глубь залива наблюдается смена гидрогетит-оолитовых руд-гидрогетит-хлорит-оолитовыми, которые в свою очередь переходят через зону хлоритовых оолитовых руд в зону безоолитовых руд, состоящих из шамозита, хлорита и сидерита, либо из одного из этих минералов. Все эти руды возникают в конечные стадии трансгрессии. В процессе регрессии моря и отделения ранее существовавшего залива барьером от главного моря, или цепью островов, сужающих связь с морем и обуславливающих смену среды из слабощелочной в слабокислую, происходит появление сидеритового цемента в гидрогетит-хлорит-оолитовых рудах.

Крупные исследования были проведены также в области изучения гипергенных никелевых руд. Разработанная ранее классификация никелевых месторождений коры выветривания Д. Г. Ульяновым послужила основой для дальнейших теоретических обобщений. В частности, она явилась как бы геологической канвой, которую использовал И. И. Гинзбург при составлении им геохимической классификации кор выветривания и, в частности, никеленосных кор. При разработке этой классификации И. И. Гинзбург существенно уточнил ранее сложившиеся представления по условиям формирования кор выветривания. Совместно с И. А. Рукавишниковой И. И. Гинзбург детально изучил минералогию никеленосной коры выветривания и впервые охарактеризовал ее зональное строение.

Специальному исследованию были подвергнуты условия накопления никеля и кобальта в различных минералах коры выветривания. При этом было доказано, что наибольшая концентрация никеля наблюдается в зонах нонtronитов и охр, в то время как кобальт преимущественно накапливается в зоне охр.

В послевоенные годы исключительно большой объем научно-исследовательских работ был проведен на метаморфогенных месторождениях железных руд (Кривой Рог, Курская магнитная аномалия), имеющих огромное промышленное значение.

Я. Н. Белевцев (1951₂) показал, что основной характерной особенностью рудных полей, несущих гидрогематитовые, маритовые, а также мартит-гидрогематитовые руды, является общность в минералогическом составе руд и вмещающих пород.

В противовес этому выделяются рудные поля, в пределах которых развиты амфибол-магнетитовые и частью амфибол-магнетит-гематитовые руды, в участках развития которых полностью отсутствует гидрогематит. Положение этих рудных полей контролируется тектоническими нарушениями. В их пределах

оруденение развивается не только в роговиках, но также и в сланцах и других породах, и минералогический состав руд резко отличается от состава вмещающих пород.

По Я. Н. Белевцеву, условия образования Криворожских железорудных месторождений являются более сложными и многообразными, чем это ранее представлялось. Гидрогематитовые и мартитовые рудные залежи возникли в условиях метаморфизма первично осадочных месторождений, сопровождавшегося выщелачиванием кремнезема и привнесом железа гидротермальным раствором, только частью заполнившего образовавшиеся поры.

В других условиях образовывались амфибол-магнетитовые руды. Они являются продуктом гидротермального щелочноземельного метасоматоза, вызванного постмагматическими процессами, и сопровождаются интенсивным околорудным изменением вмещающих пород.

Н. П. Семененко (1946), основываясь на детальном изучении структуры рудных полей месторождений Криворожского бассейна, пришел к близким выводам. Согласно его данным, большая часть богатых скоплений железных руд возникла гидротермально-метасоматическим путем, а первично-осадочными образованиями являются лишь роговики и джеспилиты.

В рассматриваемый период большое внимание было уделено изучению экзогенных месторождений марганца и алюминия.

Произведенные дополнительные исследования на Чиатурском, Никопольском и других месторождениях марганца осадочного происхождения полностью подтвердили основные положения, высказанные ранее А. Г. Бетехтиным о соотношении первично окисных, а также окисленных и неокисленных карбонатных руд.

Разведочные работы, базировавшиеся на этих представлениях, позволяли выявлять и оконтуривать наиболее важные в промышленном отношении первично-окисные руды, содержащие минимальное количество вредных примесей и накапливавшиеся ближе к береговой линии по сравнению с карбонатными рудами.

Крупные успехи были достигнуты в области выяснения условий образования и закономерностей размещения бокситовых месторождений. Наибольший интерес в этом отношении представили исследования Ю. К. Горецкого (1947), который предложил разделить бокситы: 1) на образовавшиеся в условиях краевой зоны геосинклинали, 2) возникшие на платформах слабой степени консолидации и 3) сформировавшиеся на консолидированных платформах. Первые из них возникают при трансгрессии моря на сушу, подвергавшуюся выветриванию в континентальных условиях с возникновением коры выветривания. При этом периодические трансгрессии моря вызывались колебательными движениями небольшой амплитуды и приводили к возникновению широких шельфов, покрытых мелководными морскими отложениями с резким преобладанием карбонатных осадков. Такие

условия благоприятствуют накоплению бокситовых руд, осаждающихся из коллоидных растворов, приносимых поверхностными водами. Ю. К. Горецкий высказал предположение, что глинозем приносится в бассейны при низких значениях рН в сернокислых растворах, возникающих в результате разложения пирита, развивавшегося в виде вкрапленности в породах, подвергавшихся выветриванию. В условиях платформ образование бокситов осуществляется в периоды седиментации в озерных и болотных бассейнах на поверхности эрозионных равнин. Многие залежи бокситов, образующиеся в платформенных условиях, локализуются вблизи выходов пиритизированных формаций, которые являются возможными источниками глинозема.

Анализ имевшихся данных по закономерностям размещения бокситов показал, что основная масса месторождений платформенного типа сформировалась в мезозойское время, тогда как в палеозое образование бокситов происходило преимущественно в геосинклиналих. Эта закономерность находит себе объяснение в значительном расширении платформенных площадей в мезо-кайнозойскую эпоху. Изложенных представлений Ю. К. Горецкого придерживались и многие другие геологи, изучавшие бокситовые месторождения. В частности В. А. Вахромеев (1948), изучавший генезис мезозойских бокситов платформенного типа, пришел к выводу, что они возникли в условиях теплого и влажного климата.

А. К. Гладковский (1948) высказал предположение, что бокситы платформенного типа являются пресноводными озерными преимущественно механическими осадками. Источником их он предполагает латеритовые образования, возникавшие на эффузивных породах. Эти представления близки к взглядам С. Ф. Малавкина, высказанным им еще в тридцатые годы.

Исследования А. К. Гладковского палеозойских бокситов Урала показали, что они возникли в прибрежной части геосинклинали, что доказывается многократным переслаиванием бокситов и известняков. Как уже ранее отмечалось, несколько других взглядов на генезис палеозойских бокситов придерживался А. В. Пейве (1946), который высказывал предположение, что накопление глинозема связано с подводной эффузивной деятельностью.

ЭНДОГЕННЫЕ И ЭКЗОГЕННЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Как известно, в Советском Союзе до недавнего времени не было известно существенных промышленных месторождений алмазов. Однако многие геологи не сомневались, что такие месторождения будут выявлены. В. С. Трофимов (1947) и В. С. Соболев

(1951) обобщили¹ мировой опыт изучения коренных и россыпных месторождений алмазов, который широко был использован геологами, проводящими поисковые работы на Урале и в Восточных районах СССР. Усилия советских геологов привели к открытию в 1954 и последующих годах в Западной части Якутской АССР коренных и россыпных месторождений алмазов, детальное изучение которых было проведено уже в последующий период (после 1954 г.). Это открытие в значительной мере обосновывалось научными прогнозами В. С. Соболева и Н. Н. Сарсадских.

Большое практическое значение имели работы советских геологов в области изучения месторождений слюд и расширения сырьевой базы этого важного вида минерального сырья. Блестящий прогноз, который был высказан Д. С. Коржинским еще в 1932 г. о возможности выявления на Алданском щите промышленных месторождений флогопита, полностью оправдался. В период Великой Отечественной войны был выявлен Алданский флогопитоносный район, который в период 1945—1953 гг. был детально изучен и в значительной степени разведан.

В противовес ранее высказывавшимся представлениям П. П. Пилипенко и А. Е. Ферсмана об образовании флогопитовых жил как продуктов развития пегматитов линии скрещения и данным С. С. Смирнова и П. В. Калинина, относящим флогопитовые жилы к пневматолитовым образованиям, Д. С. Коржинский (1947, 1953) высказал новую гипотезу образования флогопитов. По этой гипотезе флогопитовые рудные тела возникают позднее времени формирования пегматитов в результате химического взаимодействия двух неравновесных сред — карбонатных пород, с одной стороны, и любых силикатных, с другой. При этом не происходит значительного привноса вещества извне, а флогопитоносные зоны образовались за счет перегруппировки вещества вмещающих пород. Для каждого месторождения минералогический состав зон замещения может быть изображен в качестве функции отношения трех инертных компонентов: Al_2O_3 , SiO_2 и MgO .

Важные исследования были проведены также в целях выявления условий образования мусковитовых пегматитов. В этом отношении особый интерес представили данные В. Д. Никитина (1952), который объяснил возникновение слюд гидролизом полевых шпатов по следующей схеме: $3K[AlSi_3O_8] + 2H_2O \rightarrow KAl_2(OH)_2 \cdot [AlSi_3O_{10}] + 2KOH + 6SiO_2$. Схема эта, в частности, объясняет причину накопления слюд преимущественно в пегматитах, обедненных щелочами.

В рассматриваемый период получили дальнейшее развитие исследования в области выяснения условий образования корун-

¹ Первые обобщения мирового опыта изучения алмазов были выполнены В. С. Соболевым еще в 1940 г.

дов и других видов высокоглиноземистого сырья (Наковник, 1947; Л. Шабынин, 1949; Коржинский, 1951, 1953, и др.).

По представлениям Н. И. Наковника, вторичные кварциты образуются в близповерхностных условиях в результате воздействия на вмещающие породы кислых растворов, содержащих в своем составе Si , F , V и приводящих к развитию метасоматической зональности. По преобладанию высокоглиноземистых минералов Н. И. Наковник выделяет следующие шесть фаций вторичных кварцитов: 1) корундово-андалузитовая, 2) диаспоровая, 3) алунитовая, 4) каолининовая, 5) пиррофиллитовая, 6) серицитовая.

Д. С. Коржинский, базируясь на выведенной им системе дифференциальных уравнений метасоматоза, пришел к выводам, что при метасоматических процессах: 1) по мере просачивания растворов метасоматическая колонка разрастается без изменения состава зон, 2) замещение происходит только на контактах зон и соответственно контакты между зонами должны быть резкими, 3) в передней зоне раствор настолько приспосабливается к породе, что подвижной является только вода: по мере перехода к последним зонам число инертных компонентов уменьшается на единицу, т. е. на контакте зоны один компонент переходит в подвижное состояние; в конечную стадию происходит образование мономинеральных зон.

В общей сложности во вторичных кварцитах Д. С. Коржинский указывает на развитие следующих шести зон: I — разложения кварцевого порфира, II — ортоклаз-альбит-кварц-серицит-хлоритовая (подвижн. MgO), III — ортоклаз-альбит-кварц-серицитовая (подвижн. Na_2O), IV — кварц-серицит-ортоклазовая (подвижн. K_2O), V — андалузит-кварцевая (подвижн. SiO_2), VI — корундовая.

Выводы Д. С. Коржинского позволили не только познать условия образования высокоглиноземистых кварцитов, но и вообще по-новому подходить к изучению гидротермально измененных пород.

В частности, удалось углубить наши представления об условиях образования месторождений асбеста и талька. Как известно, асбестовые месторождения образуются в результате воздействия на серпентиниты растворов, связанных с кислыми интрузиями. Д. С. Коржинский показал, что серпентинизация, оталькование и листвинитизация являются последовательно проявляющимися стадиями изменения основных пород растворами, содержащими CO_2 . В первую стадию воздействия растворов на дуниты происходит разложение оливина с образованием серпентина и брусита. Во вторую стадию воздействие углекислых растворов приводит к возникновению серпентина и брейнерита. В третью стадию возникает тальк и брейнерит, а в четвертую — кварц и брейнерит. Таким образом, процесс идет в сторону образования

силикатов, все более богатых кремнеземом, и карбонатов, богатых двухвалентным железом и магнием. В случае же, если процесс протекает в окислительных условиях, то Fe^{2+} переходит в Fe^{3+} и в парагенезисе с доломитом и магнетитом образуется магнетит или магномагнетит. В этих условиях железо не входит изоморфно в асбест и тальк, и образуются наиболее высококачественные месторождения этих минералов.

Не имея возможности подробно остановиться на исследованиях, проведенных в характеризующий период в области выяснения условий образования других видов минерального сырья, следует все же указать, что В. С. Соболев и Н. А. Флоренсов (1948) по-новому объяснили генезис Ботогольского месторождения графита и показали, что обязательными условиями образования крупных месторождений графита, связанных с магматическими породами, являются 1) существование восстановителей углекислоты, преимущественно органического характера, 2) относительно большая глубинность процесса (не выше III фации глубинности, по Д. С. Коржинскому), 3) местное освобождение больших количеств углекислоты при ассимиляции или метасоматозе известняков.

В результате исследований И. В. Дубыной, В. П. Солоненко и других подтвердились громадные перспективы Тунгусского графитоносного бассейна.

Были проведены интересные исследования в области выяснения генезиса пьезокарта и других видов пьезооптического сырья (Морозенко, 1946, Ермаков, 1949). Изучены открытые перед Великой Отечественной войной фосфоритовые месторождения Каратау (Гиммельфарб, 1946) и проанализированы фосфоритоносные бассейны зарубежных стран (Орлов, 1951).

В 1949 г. было открыто новое Старобинское месторождение калийных солей в девонских отложениях БССР и собраны важные данные по общим вопросам геологии минеральных солей (Косыгин, 1950, Иванов, 1953).

Интересные исследования были начаты в области условий образования и закономерностей распространения месторождений самородной серы. А. С. Соколов впервые сделал попытку проанализировать геотектонические условия размещения серных месторождений. Он выделил шесть важнейших сероносных провинций и в том числе четыре провинции осадочных месторождений серы: 1) провинция побережья Мексиканского залива, 2) Средиземноморская провинция, 3) Среднеазиатская и 4) Восточно-Европейская.

Важные исследования были также проведены по месторождениям флюорита, барита, строительным материалам и т. д.

В период послевоенного восстановления народного хозяйства объем поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых значительно расширился. Резко увеличился объем научно-исследовательских работ по дальнейшей разработке общих вопросов теории формирования эндогенных и экзогенных минеральных образований и по изучению геологии рудных, неметаллических и других месторождений полезных ископаемых.

1. Получила дальнейшее развитие теория метасоматических процессов, разрабатывавшаяся Д. С. Коржинским. Было показано, что перемещение компонентов при этих процессах происходит либо посредством диффузии их через поровые растворы, либо в результате инфильтрации растворов. Детальный анализ термодинамических потенциалов физико-химических систем позволил Д. С. Коржинскому объяснить физико-химическую сущность закона постоянства объемов при метасоматозе, ранее открытого Линдгреном. А. Г. Бетехтину удалось впервые проанализировать вопрос о влиянии режима кислорода и серы на процессы рудообразования и соотношения минералов в рудах.

2. Ю. А. Билибин обратил внимание геологов на необходимость выделения в рудоносных провинциях структурных ярусов, каждый из которых характеризуется присущими ему чертами геологического строения и рудоносности. Этот исследователь высказал также гипотезу о формировании эндогенного оруденения различного типа синхронно с этапами развития подвижных зон. Учение о рудных поясах получило новое развитие в связи с исследованиями Н. М. Нехорошева и В. И. Смирнова.

3. В результате проведенных структурно-геологических исследований А. В. Королев показал важную роль разрывных нарушений в проявлении региональной зональности в рудных районах и провинциях. Согласно данным ряда авторов, было установлено, что рудоносные разрывы в рудных полях большинства эндогенных месторождений возникли значительно ранее оруденения, обычно еще в процессе складчатости, до внедрения магматических образований, а в период минерализации раскрытие этих разрывов вызывалось незначительными движениями вдоль них. Был выяснен механизм контроля оруденения крупными разрывными нарушениями, движения вдоль которых приводили к приоткрыванию боковых трещин синхронно с проникновением вдоль них рудоносных растворов.

4. Важное значение приобрели исследования текстур и структур хромитовых месторождений и выяснение зависимости состава хромшпинелидов от состава вмещающих пород, проведенные Г. А. Соколовым и Н. В. Павловым. Было показано, что содержание хрома в хромшпинелидах зависит от отношения алюминия

к кальцию и щелочным металлам, входящим в состав породообразующих минералов вмещающих пород. Важные закономерности были выявлены в результате сравнительного изучения петрохимических особенностей рудоносных массивов гипербазитов различных провинций.

Новые ценные сведения были получены в результате исследований, проведенных на медно-никелевых месторождениях, позволивших В. К. Котульскому разработать гипотезу абиссальной ликвации, согласно которой сплошные сульфидные руды поступают в зону рудоотложения из глубоких горизонтов остывающих магматических очагов. Согласно А. Г. Бетехтину, сульфидные массы, отделившиеся от материнского расплава еще в ранний магматический период, длительное время сохраняются в жидком состоянии в связи с высокой температурой окружающих пород. Я. И. Ольшанский провел важные экспериментальные исследования, воссоздающие условия ликвации силикатных и сульфидных масс и показал, что сульфидный расплав обладает высокой текучестью (смачиваемостью), значительно превышающей текучесть воды.

5. Детальные минералого-геохимические исследования позволили К. А. Власову разработать новую классификацию гранитных пегматитов, основанную на текстурно-структурных особенностях. Им было выделено четыре типа пегматитов, характеризующихся специфическими парагенезисами минералов. Особо важное значение имеет четвертый редкометаллозамещенный тип. А. А. Беус изучил зональность пегматитов и показал, что в гранитных пегматитах «чистой линии» выделяется одиннадцать зон, из которых семь возникли в условиях первичной кристаллизации. А. И. Гинзбург показал, что строение пегматитов и развитие в них тех или иных зон находится в зависимости от тектонических условий их формирования.

6. Рассматривая условия формирования гидротермальных месторождений, В. А. Николаев пришел к выводу, что при кристаллизации глубинных магм возможен постепенный переход от расплава к гидротермальному раствору. А. Г. Бетехтин высказал гипотезу, что при высоких температурах в растворах, содержащих сероводород, металлы могут переноситься в виде хлоридов. Отечественные геологи пришли к выводу, что генетическая связь гидротермального оруденения с изверженными породами является значительно более сложной и разнообразной, чем это представлялось ранее, и разработали представление о парагенетической связи оруденения с малыми и другими интрузиями. В общей сложности все гидротермальные месторождения были разделены на три группы: 1) генетическая, связь которых с материнскими массивами может быть доказана, 2) генетическая связь с определенными интрузивными комплексами может быть установлена по косвенным соображениям и 3) генетиче-

скую связь которых с какими-либо интрузивными породами установить не удастся. Данные по детальному изучению геологии гидротермальных месторождений позволили советским геологам разработать несколько вариантов классификации этих месторождений, построенной на реально наблюдаемых геологических критериях.

7. Большой объем геологоразведочных и научно-исследовательских работ на месторождениях отдельных металлов привел к сбору нового фактического материала, существенно расширил и углубил сложившиеся ранее представления по геологии отдельных металлов и другого вида минерального сырья. Особенно это коснулось геологии олова, вольфрама, сурьмы и ртути, золота, меди (в первую очередь месторождений, связанных со скарнами), свинца и цинка и других металлов.

8. В результате изучения экзогенных и метаморфогенных рудных месторождений особенно важные данные были получены Н. М. Страховым по выяснению закономерностей размещения железорудных месторождений и прежде всего сидеритовых руд, возникающих в паралических угленосных толщах. Б. П. Кротов детально проанализировал этапы и стадии формирования различных типов осадочных руд железа и марганца и изучил условия их формирования в зависимости от особенностей проявления трансгрессии моря. И. И. Гинзбург уточнил геохимическую классификацию кор выветривания и, в частности, никеленосных кор. Изучение метаморфогенных месторождений Кривого Рога показало, что они обладают сложным генезисом и их формирование связано не только с осадочными и метаморфогенными процессами, но также и гидротермально метасоматическими. Изучение геологии бокситов позволило более глубоко выяснить отличительные особенности их в зависимости от геологических условий формирования в геосинклиналях или на платформах.

9. Изучение неметаллических месторождений позволило Д. С. Коржинскому высказать новую гипотезу формирования флогопитов в связи с явлениями биметасоматоза на контакте карбонатных и силикатных пород. Наряду с этим существенно расширились представления по условиям формирования слюдяных пегматитов, высокоглиноземистого сырья, графитов, фосфоритов, солей, серы и других видов минерального сырья.

Заканчивая изложение основных итогов научных исследований отечественных геологов в первые две послевоенные пятилетки, нетрудно видеть, что в этот период учение о рудных и неметаллических ископаемых достигло значительных успехов. Повысилась роль комплексных исследований, появились новые научные направления, позволяющие ставить и решать ряд более сложных вопросов по условиям формирования и закономерностям размещения рудных и нерудных месторождений.

ПЯТЫЙ ПЕРИОД

1954 — 1968 гг.

Восстановив разрушенное в период Великой Отечественной войны народное хозяйство, народы Советского Союза под руководством Коммунистической партии приступили к созданию материально-технической базы коммунизма. Во всех уголках нашей Родины развернулась огромная стройка. Все это резко повысило потребность в минеральном сырье. Высокие темпы роста добычи полезных ископаемых были определены XX съездом КПСС на период 1956—1960 гг. Перед геологоразведочной службой СССР была поставлена задача не только обеспечить необходимое расширение минерально-сырьевых баз действующих и строящихся предприятий, но и создать резерв разведанных запасов полезных ископаемых для дальнейшего развития промышленности прежде всего в восточной части СССР. Дальнейший еще более быстрый рост производительных сил страны был намечен XXI съездом КПСС на 1959—1965 гг.

В целях обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами развития народного хозяйства общий объем геологоразведочных работ на семилетку планировался с увеличением на 67%. Директивами семилетнего плана предусматривалось прежде всего резкое усиление геологоразведочных работ на нефть и газ, что вызывалось необходимостью улучшения структуры топливного баланса.

Наряду с этим геологическая служба страны была ориентирована также на усиление поисков и разведки богатых и легко обогащаемых руд черных и цветных металлов, расположенных в благоприятных экономических условиях.

По-прежнему последовательно проводился курс на развитие производительных сил в восточных районах страны, включая Урал, Сибирь, Дальний Восток, Казахстан и Среднюю Азию. В эти районы в 1959—1965 гг. направлялось свыше 40% общего объема капиталовложений. Советские геологи и в рассматриваемый период полностью выполнили задания партии и правительства. В эффективном проведении исключительно большого объе-

ма поисковых и геологоразведочных работ геологам-производственникам значительную помощь оказали ученые.

Советская геологическая наука в рассматриваемый период достигла невиданного расцвета. В изучение геологии рудных и неметаллических месторождений включились новые коллективы геологов, в частности, научные сотрудники многих вновь организованных институтов в республиканских Академиях наук, отраслевых институтов Министерства геологии СССР и высших учебных заведений. Институт геологических наук АН СССР был реорганизован в 1956 г. и на его базе выросло три института — Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии АН СССР (ИГЕМ), Институт минералогии и геохимии редких элементов Министерства геологии СССР (ИМГРЭ) и Институт геологии АН СССР (ГИН), которые исключительно большое внимание начали уделять выяснению условий образования и закономерностей размещения рудных и неметаллических месторождений. Значительно расширились и углубились исследования в области геохимии рудных месторождений и моделирования природных рудообразовательных процессов в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Академии наук СССР.

Важную роль в изучении геологии рудных месторождений начали также играть исследования Сибирского отделения АН СССР, организованного по постановлению Совета Министров СССР в 1957 г., и в институтах геологии Академии наук союзных республик.

Широко развернулись работы по изучению геологии рудных месторождений и металлогении во ВСЕГЕИ (Ленинград), ВИМС (Москва), ЦНИГРИ (Москва), в ленинградских Горном институте и Университете, в Московском университете, в Университете Дружбы народов им. П. Лумумбы, в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе, до 1960 г. в Московском институте цветных металлов и золота им. М. И. Калинина, в Свердловском горном институте, в Ташкентском Политехническом институте, в Среднеазиатском университете и в ряде других вузов страны. В Тбилиси, Ташкенте, Алма-Ате, Новосибирске, Красноярске, Иркутске, Чите, Хабаровске открылись новые институты минерального сырья.

Особенностью геологических исследований характеризуемого периода является их комплексность и во многих случаях они проводятся по единой программе, научными сотрудниками разного профиля и различных научно-исследовательских организаций совместно с геологами-производственниками. Научному прогнозированию значительно способствуют также проводимые систематически геологическими управлениями работы в области государственного картирования территории нашей Родины.

На базе расширения геологического картирования значительно увеличились металлогенические исследования.

Поисково-разведочные работы, проводимые в исключительно больших объемах в различных районах нашей страны на базе комплексных научно-исследовательских работ, увенчались рядом важных открытий.

Геологами геологических управлений Министерства геологии СССР при участии научных работников ИГЕМ АН СССР и Ленинградского горного института выявлен ряд новых промышленных месторождений хрома, а при участии научных работников ЦНИГРИ и ИГЕМ — медно-никелевых руд (Талнахское и Хараэлахское месторождения). При участии ВИМС и ИМГРЭ были открыты многочисленные месторождения редких металлов, связанные с пегматитами и гидротермальными образованиями.

Были открыты, разведаны и изучены месторождения новых или ранее мало представленных в СССР генетических типов и рудных формаций таких, как карбонатитовая, альбититовая и др. Значительный интерес представило открытие месторождений радиоактивных металлов в различных районах, новых месторождений олова и вольфрама в Приморье, ряда штокверковых молибденитовых месторождений в Центральном Казахстане и Забайкалье, свинцово-цинковых месторождений в Восточной Сибири (Горевское, Таборное), на Кавказе (Филизчай), в Узбекистане (Хандиза), медных на Северном Кавказе (Урупское и Худесское), на Урале (Гайское, им. XIX партсъезда, Озерное, Малайское, Весеннее и др.), в Актюбинской области КазССР (50 лет Октября) и в Северном Забайкалье (Удоканское), разнообразных месторождений флогопита, асбеста и других неметаллических ископаемых. При участии ученых ВИМС обеспечена сырьевая база титановой промышленности.

При участии научных работников Якутского филиала АН СССР в Якутии в 1954 г. был выявлен дополнительно и разведан ряд крупнейших месторождений алмазов, связанных с кимберлитами, которые в совокупности по своему масштабу и качеству руд превышают известные считавшиеся ранее уникальными южноафриканские месторождения.

При участии ученых ИГЕМ (М. И. Калганов и др.), ВСЕГЕИ и других институтов в Курской магнитной аномалии были открыты, оценены и разведаны богатые железные руды, частью залегающие вблизи современной поверхности и доступные для добычи, с общими запасами более 40 млрд т.

При участии научных сотрудников республиканских академий открыты важные золоторудные месторождения в Кызылкумах и Армянской ССР.

Советская геологическая наука обеспечила нашу страну практически всеми видами минерального сырья, но вместе с тем

перед ней встали новые сложные задачи по дальнейшему обеспечению сырьевой базой нашей социалистической промышленности в период строительства коммунизма.

Выступая на Всесоюзном совещании научных работников в Кремле, Председатель Совета Министров СССР А. Н. Косыгин отметил: «Общеизвестны заслуги советских ученых-геологов. Достаточно назвать имена академиков И. М. Губкина, А. Е. Ферсмана, А. Д. Архангельского, В. А. Обручева, С. С. Смирнова, которые своими исследованиями обеспечили выявление крупнейших природных богатств нашей страны. В результате успешного осуществления научных исследований и больших геологоразведочных работ Советский Союз по выявленным запасам минерального сырья стал одной из самых богатых стран мира. Наша страна занимает теперь первое место в мире по разведанным запасам железных и марганцевых руд, меди, свинца, цинка, никеля, асбеста»¹.

В директивах XXIII съезда КПСС большое внимание было уделено геологическим исследованиям и было указано на необходимость расширения научных работ по изучению земной коры и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых для лучшего использования природных ресурсов².

Для претворения в жизнь решений Партии и Правительства геологоразведочные работы в СССР получили грандиозный размах. Если в 1921 г. в СССР работало всего 87 полевых геологических партий, то в настоящее время число геологических партий превышает 10 000. Общее количество специалистов геологов с высшим образованием в царской России к 1913 г. насчитывало 300 человек. В 1964 г. всего работало таких специалистов более 100 000 человек. Кроме того, в настоящее время советская геологическая служба владеет мощной производственно-технической базой. Согласно А. В. Сидоренко (1967), на вооружении геологов имеется около 12 000 буровых станков, более 7000 передвижных электростанций, 5000 компрессоров, 12 000 металлообрабатывающих станков, несколько десятков тысяч автомобилей и тракторов, большое количество вездеходов, сейсмических и коротажных станций и другое оборудование. Полевые и лабораторные работы оснащены новейшей научной аппаратурой. Однако не только большая техника способствует эффективному проведению поисково-разведочных работ, приведших к открытию, разведке и оценке более 10 000 месторождений и в том числе более 300 месторождений цветных, редких и благородных металлов, являющихся надежной сырьевой базой для советской промышленности.

¹ «Правда», № 166, 15 июня 1961 г.

² Материалы XXIII съезда КПСС. М., Политиздат, 1966, стр. 231.

Значительные успехи в раскрытии богатств земных недр в большой степени зависят от углубленных геологических исследований как вновь выявленных, так и ранее известных многочисленных месторождений.

Резко увеличилось количество и качество научных трудов в области науки о рудных и неметаллических ископаемых. Появились новые учебные пособия по геологии рудных месторождений, их поискам и разведкам (Татаринов, 1955, 1964; Смирнов, 1954, 1965; Магакьян, 1955, 1961; Крейтер, 1956, 1961; Якжин, 1959; Вахрамеев, 1961; Каждан, 1966). В 1955 г. было опубликовано под редакцией А. Г. Бетехтина второе дополненное и переработанное издание научного труда «Основные проблемы изучения магматогенных месторождений». Это издание получило широкую известность в СССР и за рубежом и четыре автора были удостоены Ленинской премии 1958 г. В этом же году Академия наук СССР впервые начала систематическое издание трудов в области закономерностей размещения полезных ископаемых, суммирующий опыт большого коллектива советских геологов, работающих в этом направлении.

Значительно увеличилось количество периодических изданий в области геологии в целом и учении о месторождениях полезных ископаемых, в частности. Научные статьи по вопросам образования и закономерностям размещения полезных ископаемых очень широко начали публиковаться в Докладах АН СССР, в журналах «Известия АН СССР, серия геологическая», «Геохимия», «Советская геология», «Известия Казахской АН ССР, серия геологическая», «Известия Министерства высшего и среднего образования, серия геология и разведка», «Геология и геофизика» (журнал Сибирского отделения АН СССР), «Известия Академии наук Армянской ССР», «Узбекский геологический журнал», «Разведка и охрана недр» и др.

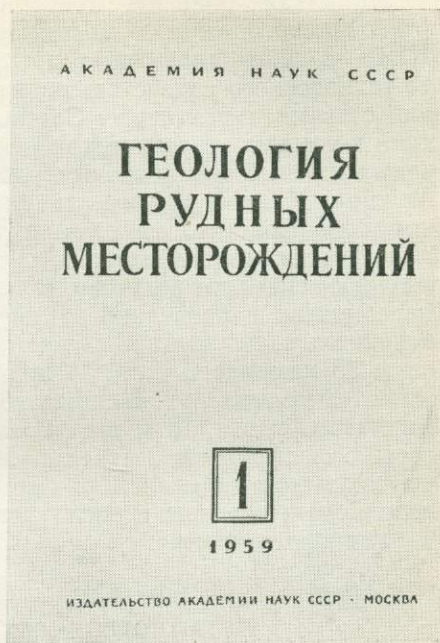
В 1959 г. Академия наук СССР начала издавать специальный журнал «Геология рудных месторождений», который полностью посвящен учению о рудных месторождениях. В 1963 г. Издательство АН СССР начало публиковать, кроме того, журнал «Литология и полезные ископаемые», в котором систематически освещаются вопросы изучения экзогенных рудных месторождений. Многочисленные книги и журнальные статьи, опубликованные в рассматриваемый период, содержат исключительно ценный фактический материал по вопросам рудообразования и важные научные выводы, которые способствуют распространению новейших методов исследования и научно-теоретических достижений, полученных в нашей стране среди широких кругов геологов научно-исследовательских и производственных организаций. Этому также способствуют научные конференции по вопросам металлогении и другим проблемам рудообразования, ежегодно созываемые в различных крупных научных цент-

рах нашей страны и частью за рубежом. Советские геологи принимают активное участие в международных геологических конгрессах и специальных совещаниях по проблемам рудообразования.

Заканчивая общий краткий обзор основных достижений в области развития учения о рудных месторождениях, необходимо отметить, что в течение характеризуемого периода советские геологи значительную помощь оказали в поисках, разведке и изучении полезных ископаемых всем социалистическим странам, а также многим странам Азии и Африки. Плодотворная совместная работа геологов СССР с геологами социалистических стран привела не только к умножению минеральных богатств этих стран, но и к коллективному решению ряда важных теоретических проблем рудообразования, а также к изучению рудных месторождений Алжира, Кубы и МНР, результаты которых уже частью опубликованы. Большую ценность представляют совместные исследования в 1946—1951 гг. геологов НРБ и СССР свинцово-цинковых месторождений Маданского района в Болгарии, ПНР, ЧССР и других социалистических стран.

Намечаются большие перспективы совместного решения ряда кардинальных вопросов рудообразования геологами стран—членов СЭВ, в связи с принятым решением Исполнительного Комитета Совета Экономической Взаимопомощи от 15—21 февраля 1963 г., где говорится: «Важнейшей задачей сотрудничества центральных геологических органов стран—членов СЭВ на ближайший период является разработка и осуществление мероприятий по усилению геологического изучения недр и повышению эффективности работ в этой области, направленных на всемерное расширение минерально-сырьевой базы стран—членов СЭВ».¹

¹ «Правда», № 54, (16275), 23 февраля 1963 г.



Обложка первого номера журнала «Геология рудных месторождений»

Придавая большое значение расширению экономических связей нового типа с молодыми государствами, XXIII съезд КПСС в своих директивах предусмотрел оказание всестороннего технического содействия развивающимся странам. В соответствии с этими директивами Советский Союз оказывает значительную помощь в геологических исследованиях и проведении поисковых и геологоразведочных работ Индии, Сирии, ОАР, Бирме, Алжиру, Мали и другим странам. Во всех этих государствах с помощью Советского Союза укреплена, либо организована заново геологическая служба, созданы научно-исследовательские геологические организации и за короткий срок выявлено или переоценено и разведано 342 месторождения 51 вида полезных ископаемых. В их числе 22 месторождения нефти, 15 природного газа, 35 каменного угля, 34 железных руд, 9 марганца, 12 хромитов, 8 медных руд, 8 свинцово-цинковых, 6 никелевых, 8 алюминиевого сырья, 29 золота, 9 олова, 6 вольфрама, 4 природной серы, 6 фосфоритов, 3 асбеста, 14 алмазов и ряд месторождений других видов минерального сырья. 140 месторождений полезных ископаемых введены в эксплуатацию или намечены к освоению в ближайшее время¹.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исключительно большой объем поисковых и разведочных работ, развернувшихся в нашей стране в рассматриваемый период, сделал особо необходимым широкое развитие металлогенических исследований, ставящих перед собой задачу выявления закономерностей размещения рудных месторождений и установление причин, приводящих к возникновению таких закономерностей. Потребовалось дальнейшее углубление теоретических основ региональной металлогении и развитие методики металлогенических исследований по составлению металлогенических карт. В этом отношении особо следует отметить работы металлогенической группы ВСЕГЕИ, а также геологов Казахстана, проводивших исследования под руководством К. И. Сатпаева и составивших металлогеническую прогнозную карту Центрального Казахстана, авторы которой удостоены Ленинской премии. Однако мелкомасштабные металлогенические карты 1 : 1 000 000—1 : 500 000, игравшие большую роль для поисково-разведочных работ еще совсем недавно, теперь не удовлетворяют запросам промышленных организаций.

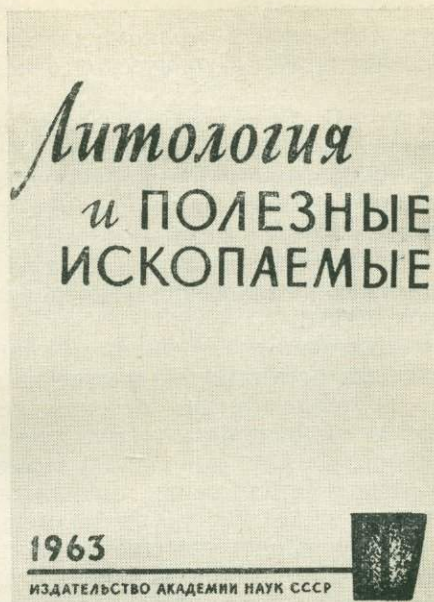
¹ 50 лет советской геологии. М., изд-во «Наука», 1968, стр. 116—117.

Особое значение в последние годы приобрели металлогенические исследования рудоносных провинций в масштабе 1:200 000, рудный районов и узлов в масштабе 1:25 000—1:50 000.

По инициативе Е. А. Радкевич (1958) и Е. Т. Шаталова (1958) возникло новое направление в металлогении — металлогения рудных районов, вначале разрабатываемое в ИГЕМ АН СССР, а затем и в других научно-исследовательских институтах. Это направление имело цель систематизировать и развить научные и методические основы крупномасштабной металлогении и охарактеризовать особенности металлогенических исследований в рудных районах с различными геологическими условиями.

Развитию металлогенических исследований способствует разрабатываемая в АН СССР научная проблема «Закономерности размещения главнейших полезных ископаемых в земной коре». Координация металлогенических исследований с 1955 г. осуществлялась межведомственной комиссией при ОГГН АН СССР, преобразованной в 1959 г. в Научный совет по изучению закономерностей размещения полезных ископаемых при ОГГН АН СССР, в составе которого под председательством Г. А. Соколова работала Комиссия по изучению эндогенных рудных месторождений, а под председательством В. П. Петрова — неметаллических. Этот совет в 1961 г. преобразован в Научный совет по теории образования и размещения важнейших металлических и неметаллических полезных ископаемых при ОГГН АН СССР, а затем при Отделении наук о земле, который последовательно возглавлялся Н. С. Шатским, Д. И. Щербаковым, а в настоящее время В. И. Смирновым.

Значение указанных комиссий и советов для развития металлогенических исследований очень велико. На их научных заседаниях дискусируются самые актуальные вопросы металлогенических исследований. В процессе обсуждения методов составления



Обложка первого номера журнала
«Литоология и полезные ископаемые»

металлогенических карт было выработано мнение о необходимости составления мелкомасштабных металлогенических карт на специальной тектонической основе, с выделением областей с различным возрастом складчатости.

Были созваны всесоюзные совещания по общей металлогении (Ленинград, 1954), металлогении Кавказа (1957), первой (Алма-Ата, 1958), второй (Киев, 1960), третьей (Баку, 1962) четвертой (Ленинград, 1965) объединенных научных сессий по металлогеническим и прогнозным картам и закономерностям размещения полезных ископаемых, а также Всесоюзной конференции по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса (Владивосток, 1960).

В отмеченных совещаниях участвовали сотни геологов из различных организаций, многие из которых выступали с докладами по теоретическим основам металлогении, региональной и специальной металлогении, а также по металлогении отдельных металлов. Все эти доклады, а также многочисленные статьи по проблемам металлогении, опубликованные в специальных сборниках по закономерностям размещения полезных ископаемых, в журнале «Советская геология» и в других многочисленных периодических изданиях, вносят существенный вклад в развитие теоретических основ металлогенического направления в учении о рудных месторождениях и благоприятно влияют на проведение поисковых работ на руды разнообразных металлов.

Вместе с тем в рассматриваемый период наиболее отчетливо наметились существенные расхождения по ряду важных вопросов, связанных с металлогеническими исследованиями и прежде всего по вопросу о последовательности развития различных минеральных образований в рудоносных районах. Одна группа исследователей, развивая идеи Ю. А. Билибина (1955), считает правильным рассматривать закономерную приуроченность месторождений не к определенным геотектоническим единицам, а к определенным этапам процесса развития рудоносных территорий. Идеи о закономерном развитии различных рудоносных территорий в ранний, начальный, средний, поздний и конечный этапы, легли в основу метода металлогенического анализа и составления металлогенических карт (Татаринов и др., 1957). Этот метод также разрабатывался В. И. Серпуховым (1955), А. И. Семеновым (1963), Г. А. Твалчрелидзе, Х. М. Абдуллаевым, В. И. Смирновым и другими исследователями.

Признавая основные положения Ю. А. Билибина о закономерном развитии рудоносных территорий во времени, Е. А. Радкевич (1960₂) отмечала, что они не исчерпывают всего многообразия явлений. По ее мнению, идеи о закономерном развитии геосинклинальных зон во времени должны быть дополнены представлениями о различном характере развития металлогенических зон, к которым в сущности подходил уже и сам Ю. А. Би-

либин, выдвинувший понятие о структурно-металлогенических зонах. Согласно Е. А. Радкевич, «Не только время оруденения и принадлежность его к тому или иному этапу определяют основные черты меторождений, но гораздо больше значение имеет принадлежность рудного района к тому или иному типу структурно-фациальных и металлогенических зон». В связи с этим Е. А. Радкевич во главу угла поставила вопрос о необходимости типизации рудоносных территорий по их особенностям геологического строения и истории развития. К такому же выводу пришли Д. И. Горжевский и В. Н. Козеренко (1956) для Забайкалья и Алтая, а Г. С. Лабазин (1958) — для складчатых областей вообще. Таким образом, все отмеченные исследователи разделяют рудоносных территорий основывают на геолого-историческом принципе и тем самым развивают идеи, ранее высказанные В. А. Николаевым.

При типизации рудоносных территорий и выделении среди них металлогенических провинций, рудных зон и отдельных рудных районов, по Е. А. Радкевич, Е. Т. Шаталову и другим, наряду с выяснением особенностей развития структурно-фациальных зон следует учитывать закономерности распределения на этих территориях рудоносных формаций. Поскольку в областях развития эндогенных рудных месторождений выявляется генетическая связь оруденения в одних случаях с основными, а в других — с кислыми интрузиями, первые из них отнесены к фемическим, а вторые к сиалическим областям.

Е. А. Радкевич, В. И. Смирнов и многие другие, развивая учение Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, приходят к выводу о самостоятельных источниках основной и кислой магмы и разных глубинах зарождения их очагов. Соответственно рудоносные территории, вмещающие фемические зоны, отражающие ранний этап развития, располагаются преимущественно в пределах осевой складчатой системы, а зоны сиалические, возникшие на месте поздних прогибов, занимают периферическое положение или располагаются на месте поздних внутренних остаточных прогибов.

М. Н. Альтгаузен (1960) и П. Я. Антропов (1960) высказались против разделения времени формирования эндогенных месторождений на этапы, соответствующие этапам развития геосинклиналей. Критические замечания по металлогенической схеме Ю. А. Билибина, развиваемой коллективом геологов ВСЕГЕИ, были высказаны также Н. С. Шатским, Ю. А. Кузнецовым, М. А. Фаворской, М. Б. Бородаевской, Н. А. Фогельман и Г. М. Заридзе.

Ф. И. Вольфсон (1962) показал, что по данному вопросу более правильные представления были предложены ранее С. С. Смирновым, который на примере Восточного Забайкалья установил, что все оруденение этой провинции (оловянное, воль-

фрамовое, свинцово-цинковое, золоторудное и флюоритовое) сформировано в один этап в послеверхнеюрское время и представляет собой последовательно развивающиеся стадии. Это подтверждено новейшими данными, полученными в результате изучения абсолютного возраста интрузивных образований различных рудных поясов Восточного Забайкалья, оказавшихся послеверхнеюрскими (Томсон, Константинов, Полякова, 1964).

Образование в Кармазаре высокотемпературных магнетитовых, свинцово-цинковых и других месторождений, связанных со скарнами, а также средне-низкотемпературных свинцово-цинковых, флюоритовых и др., по данным Ф. И. Вольфсона (1951), происходило в один этап, состоящий из нескольких последовательно развивающихся стадий. Л. И. Лукин, В. А. Невский, Е. П. Соношкин, В. Н., Левин, И. П. Кушнарв и др. показали, что эндогенные промышленные месторождения всей Курамино-Чаткальской зоны от высокотемпературных до низкотемпературных возникли в послеверхнепермское — нижнетриасовое время в один этап, в ряд последовательных стадий.

В последнее время многие советские геологи приходят к выводу, что региональная зональность, проявленная в рудоносных провинциях, связана с эволюцией магматического очага и последовательным поступлением порций все новых и новых растворов в различные тектонические блоки, обладающие разной жесткостью основания. В результате каждый из этих блоков оказывается доступным для проникновения растворов лишь определенных стадий.

Развернувшиеся дискуссии по проблемам металлогении приводят к необходимости проводить более углубленные исследования для решения возникших спорных вопросов, что в свою очередь положительно влияет на развитие металлогенических исследований и научное обоснование проводимых геологоразведочных работ. К настоящему времени металлогенические построения охватывают не только складчатые области, но также щиты и платформы и особенно те из них, которые были подвергнуты активизации.

Е. А. Радкевич, изучая металлогению Тихоокеанского пояса, показала, что рудные районы активизированных платформ по геологическому строению и условиям образования эндогенного оруденения отличаются от складчатых областей, почему их следует выделить в самостоятельную группу. В. И. Казанский подтвердил этот вывод на примере сравнения особенностей геологического строения и металлогении активизированной платформы Южного Китая и Хинганского массива со складчатыми зонами Северо-Востока СССР, входящими в Тихоокеанский рудный пояс. М. И. Ициксон установил, что в пространственном размещении металлогенных элементов в пределах Тихоокеанского поя-

са особо важное значение имеют региональные глубинные разломы. Г. П. Волорovich убедительно показал, что все гидротермальные месторождения Дальневосточного края сформировались под надрудной толщей, перекрывающей разломы. И. Н. Томсон обратил внимание на важную роль скрытых разломов фундамента в образовании и пространственном размещении оруденения во всех областях и особенно на активизированных платформах.

Исследования Т. В. Билибиной, В. М. Терентьева и др. на Алдане, а также М. С. Нагибиной, А. А. Якжина, И. Г. Князева, П. М. Хренова, А. Д. Щеглова, Н. А. Фогельман, А. В. Дружинина и др. в Забайкалье и Прибайкалье показали важное значение верхнемезозойской активизации в формировании эндогенного оруденения этих областей. Вместе с тем В. Н. Козеренко и Д. И. Горжевский в размещении оруденения Восточного Забайкалья придают большое значение складчатым сооружениям палеозойской и остаточной мезозойской геосинклинали. Е. Д. Карпова показала важную роль явлений активизации при формировании некоторых эндогенных месторождений Средней Азии. Д. И. Шербаков в своих работах неоднократно указывал на большую промышленную ценность эндогенных месторождений, развитых на активизированных платформах и щитах. Такого же мнения придерживаются Е. Е. Захаров, Ф. И. Вольфсон и многие другие геологи.

В настоящее время большое внимание уделяется впервые начатому С. С. Смирновым и Ю. А. Билибиным в послевоенные годы выяснению положения эндогенного и экзогенного оруденения в различных структурных этажах и ярусах. Сопоставление имеющихся данных показывает (Вольфсон, Лукин, 1965; Казанский, Рыбалов, Лаверов, Хорошилов, 1966), что изучение условий локализации оруденения в различных структурных этажах и ярусах дает возможность глубже познать закономерности размещения эндогенных месторождений в рудоносных провинциях и районах и подойти к выяснению структурных позиций рудных полей в пределах последних.

Исследования показали, что в складчатых областях эндогенное оруденение возникает в период их перехода в платформенное состояние, а на активизированных платформах и щитах длительный период относительно спокойных колебательных движений сменяется периодом более интенсивных и дифференциальных движений, сопровождаемых магматизмом. В зависимости от того, какой магматизм проявился при активизации платформ и щитов, в их пределах возникает различная металлоносность. Проявление основных и ультраосновных пород сопровождается развитием медно-никелевого, железного и реже титанового оруденения; в специфически благоприятных геологических условиях образуются также месторождения алмазов (Трофимов, 1961,

1963). На площадях гранитоидных и щелочных интрузивов распространены контактово-метасоматические и гидротермальные месторождения свинца, цинка, сурьмы, ртути, молибдена, вольфрама, олова, золота, меди, флюорита, урана, т. е. такие месторождения, которые обычно локализуются в складчатых областях.

Особое место занимают месторождения ниобия, циркония, редких земель и некоторых других минеральных образований, которые связаны со стратифицированными щелочными интрузиями, либо интрузивными образованиями щелочного ультраосновного комплекса.

В рассматриваемый период впервые начаты исследования по выявлению закономерностей размещения в земной коре неметаллических ископаемых (Петров, 1962; Грушкин, 1961; Андреев, 1962, и др.), таких, как асбест, тальк, барит, флюорит, глины, бокситы, соли, фосфориты и др. (Петров, 1962; Мерабишвили и др., 1962; Бенеславский, 1963). Важные данные были получены А. С. Соколовым, Л. А. Ивановым, Б. М. Гиммельфарбом и др.

Значительные успехи были достигнуты в изучении закономерностей размещения гипергенных рудных месторождений железа, марганца и особенно урана (Перельман и Евсева, 1962).

Крупные исследования были проведены в области выяснения закономерностей размещения россыпных месторождений. Эти работы подтвердили и развили ряд положений, ранее выдвинутых Ю. А. Билибиным, и позволили рассмотреть особенности накопления россыпей в различные эпохи и в различных климатических условиях. В. С. Трофимов, Н. А. Шило, С. Г. Мирчинк, К. В. Никифорова, Г. С. Момджи, Р. В. Нифонтов, Н. П. Херасков, П. А. Трохачев, С. И. Гурвич, А. В. Сидоренко, В. А. Калужный, В. И. Пятнов, В. М. Чайка и многие другие охарактеризовали закономерности размещения алмазных, золотых, тантало-ниобатовых, титан-циркониевых и других россыпей. И. С. Рожков и многие другие (1960) показали важное значение развития коры выветривания, особенно в нижнеюрское время для формирования россыпей.

Среди эпох накопления титан-циркониевых и других россыпей очень продуктивной оказалась эпоха, продолжавшаяся с середины олигоцена до начала миоцена, в процессе которой сформировались россыпи различных типов на Украине, в Тургайском прогибе и в Западной Сибири.

Помимо решения общих вопросов металлогении и некоторых специальных вопросов металлогенических исследований, в рассматриваемый период проведен исключительно большой объем металлогенических исследований во всех рудоносных районах и провинциях нашей страны. Эти исследования, сопровождаемые

составлением металлогенических и прогнозных карт, оказали неоценимую помощь в проведении поисково-разведочных работ. На Кавказе в них принимали участие Р. Н. Абдуллаев, Ш. А. Азизбеков, А. Т. Асланян, И. Г. Магакян, С. С. Мкртчян, К. А. Карамян, Г. М. Заридзе, Г. А. Твалчрелидзе, В. Р. Надзирадзе и др.; по Средней Азии — Х. М. Абдуллаев, Х. Н. Баймухамедов, Р. Б. Баратов, Д. Н. Елютин, Е. Д. Карпова, А. В. Королев, И. Х. Хамрабаев; по Казахстану — Р. А. Борукаев, Д. И. Горжевский, Е. Е. Захаров, В. П. Нехорошев, М. П. Русаков, А. И. Семенов, К. И. Сатпаев, Г. Ф. Яковлев и др.; по Уралу — Т. В. Билибина, С. Н. Иванов, В. М. Сергиевский, Д. С. Штейнберг и др.; по Западной и Восточной Сибири — В. В. Богацкий, Г. И. Князев, Т. Н. Иванова, В. Н. Козеренко, В. А. Кузнецов, Г. С. Лабазин, М. М. Одинцов, Г. Л. Падалка, В. И. Серпухов, Ю. Г. Старицкий, А. И. Сулоев, Ф. Н. Шахов, А. Д. Щеглов, А. А. Якжин и др.; по Дальнему Востоку и Северо-Востоку — Г. М. Власов, Г. П. Волорович, М. И. Ицксон, В. П. Матвеевко, Е. А. Радкевич, Е. Т. Шаталов и др.; по Украине — Я. Н. Белевцев, А. П. Никольский, Н. П. Семененко и др.

СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурно-геологические исследования в рассматриваемый период получили исключительно большое развитие. Они проводятся многотысячным коллективом разведчиков и рудничных геологов и все большее и большее участие в их проведении принимают научные работники. Этим исследованиям в значительной мере способствовали региональные тематические работы по изучению тектоники крупных провинций и районов, проведенные Н. С. Шатским, А. В. Пейве, В. В. Белоусовым, В. Е. Хаином, Т. Н. Кропоткиным, Г. Д. Ажгиреем и др. Теоретические и методические положения, способствующие общему развитию структурных исследований в рудных полях и месторождениях, разрабатываются в специальных лабораториях ИГЕМ АН СССР, Института физики земли АН СССР, в ряде геологических институтов республиканских Академий наук и других организаций.

Широкому применению геолого-структурного анализа при изучении рудных и неметаллических месторождений способствует появление ряда обобщающих работ, из коих могут быть отмечены книги А. В. Королева и П. А. Шехтмана (1954, 1965), В. М. Крейтера (1956, 1961), два специальных сборника «Вопросы изучения структур рудных полей и месторождений», изданных ИГЕМ АН СССР под редакцией Л. И. Лукина (1955 и 1961), сборник, посвященный проблемам тектоно-физики (1960), спе-

циальное руководство коллектива авторов ИГЕМ АН СССР «Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений» (1960) и др.

Теоретические основы структурных исследований успешно разрабатываются в связи с тектоно-физическими работами В. В. Белоусова, М. В. Гзовского и Г. Д. Ажгирея. Целая серия экспериментальных исследований, проведенных М. В. Гзовским, позволяет учитывать роль времени, температуры и явлений релаксации в процессе деформации. Он же разработал современные представления о полях напряжений, их группировке и возможности учета при выяснении истории формирования структур рудных полей. Большое значение имеют также расчетные данные, полученные М. В. Гзовским, позволяющие примерно учесть усилия, которые имели место в процессе формирования тектонических элементов и перемещения блоков пород вдоль разрывных нарушений.

Важное значение имеет выдвинутое М. В. Гзовским понятие о средоточенных и рассеянных разрывах.

Имеются определенные достижения и в деле изучения трещинной тектоники. В. А. Невский предложил более дробную по сравнению с имевшейся ранее генетическую классификацию трещин. Им же показана важная роль нетектонических деформаций в структуре многих рудных полей и месторождений. Исследованиями В. А. Невского, В. Ф. Чернышова и др. значительно углублены представления о структурной зональности, выражающейся в изменении с глубиной трещиноватости, внутреннего строения разрывных нарушений, типов складок и тектонических элементов, связанных с ними.

В. И. Казанский, Е. П. Сонюшкин, В. А. Невский и др. детально изучили внутреннее строение рудоконтролирующих и рудовмещающих разрывов. В. И. Казанский широко применил микроструктурный анализ в сочетании с изучением явлений метаморфизма вмещающих пород вдоль разрывных нарушений в различные этапы их проявления. Это позволило ему воссоздать историю развития и внутреннее строение разрывов, прослеживающихся в кристаллических породах щитов, проявившихся в архейское, протерозойское и мезозойское время.

На базе большого объема работ по среднемасштабному геологическому картированию и специальных тематических исследований собраны ценные сведения, позволяющие выяснить позиции рудных районов в пределах крупных рудоносных провинций. В этом отношении особое значение приобрели работы А. И. Семенова, Е. А. Радкевич, Е. Т. Шаталова, К. И. Дворцовой, Е. Д. Карповой, Э. Н. Томсона, В. М. Терентьева, Г. И. Князева, Н. А. Фогельман, Л. В. Хорошилова, Г. Ф. Яковлева, В. Б. Мещеряковой, Ю. С. Шихина, В. Н. Левина и др.

При определении положения рудных полей и месторождений

в рудоносных провинциях и районах важное значение имеет выявление глубины формирования верхних частей рудных жил от поверхности, существовавшей в процессе минерализации. Проведенные в различных рудных районах исследования А. В. Королева, Л. И. Лукина, В. А. Невского, Е. П. Солюшкина, И. П. Кушнарева, Б. Л. Рыбалова, Г. Г. Грушкина, Ф. И. Вольфсона и др. показали, что к моменту формирования контактово-метасоматического и гидротермального оруденения на рудоносных площадях во всех изученных случаях существовали надрудные толщи пород, в которые оруденение не проникало и под которыми обычно заканчиваются рудоносные трещины. Верхние части рудных жил, несущих оруденение различных металлов, формировались на глубинах от 500 м (низкотемпературные свинцово-цинковые и флюоритовые месторождения) и до 1500, редко 2000 м (магнетитовые и свинцово-цинковые месторождения, связанные со скарнами) от поверхности, существовавшей в процессе минерализации.

В структурно-геологических исследованиях все большее значение приобретают работы по выявлению закономерностей размещения рудных полей в различной геотектонической обстановке. Для этой цели выясняется положение рудных полей по отношению к складчатым сооружениям, крупным разрывным нарушениям, интрузивным и экструзивным образованиям, породам жерловой фации и размещение их в определенных горизонтах пород слоистой толщи, благоприятных для оруденения и находящихся на оптимальном глубинном уровне.

В выяснении структурно-геологических позиций известных рудных полей гидротермальных месторождений принимали участие многие геологи на основе положений, разработанных А. В. Королевым, В. М. Крейтером, Г. П. Волорвичем, В. А. Невским, Л. И. Лукиным, Е. П. Солюшкиным, П. А. Шехтманом, В. П. Федорчуком, В. А. Королевым, Н. А. Никифоровым, Б. Л. Рыбаловым, Ф. И. Вольфсоном и др. Полученные ими данные успешно используются при выделении перспективных площадей для поисков новых рудных полей.

В структурно-геологических исследованиях в рассматриваемый период важное значение получили также сравнительные исследования структурных особенностей рудных полей и месторождений, приуроченных к образованиям, слагающим различные структурные этажи. При этом было установлено, что месторождения, залегающие в отложениях нижнего структурного этажа, либо нижнего яруса среднего этажа, обычно характеризуются приуроченностью к складкам, обуславливающим широкое развитие пластообразных рудных тел, либо к крупным или даже очень крупным разломам, которые, как правило, имеют длительную историю развития и проявились в процессе минерализации. Эндегенные месторождения, возникающие в отложениях верхнего

структурного этажа или верхнего яруса среднего этажа, как правило, развиваются вдоль зон трещиноватости и имеют форму жил или штокверковых зон. Крупные разломы в этих геотектонических условиях контролируют оруденение, но сами рудных тел обычно не вмещают.

Все упомянутые выше геологи, изучавшие структурно-геологические позиции рудных полей, а также А. В. Пэк, Е. Е. Захаров, В. И. Смирнов, В. Н. Котляр, М. Б. Бородаевская, Б. М. Роненсон, Н. И. Бородаевский, Г. И. Горбунов, А. В. Дружинин, В. Ф. Чернышов, И. З. Корин, Н. П. Лаверов, П. Ф. Сапко, К. Ф. Кузнецов, А. А. Гармаш, П. Д. Яковлев, К. А. Карамян, Е. П. Малиновский, Е. М. Некрасов, Г. Г. Кравченко, В. И. Величкин, П. С. Бернштейн, А. А. Горшков, О. В. Жаркова, В. В. Архангельская, Б. П. Власов, В. А. Крупенников, Б. В. Кристальный, В. Д. Баранов, Л. П. Ищукова, В. Е. Вишняков, В. В. Колесников, В. И. Сотников, Г. С. Норштейн, М. Н. Джапаридзе, И. К. Давлетов, В. М. Лапин, З. Мурадов, Р. Д. Дженчураева и многочисленные геологи-производственники провели исключительно большой объем исследований. Они выразились в детальном геологическом картировании рудных полей и месторождений, изучении их геологических структур и истории их развития, выяснению условий локализации рудных столбов и совершенствованию самого метода структурных исследований. При этом удалось выявить принципиально новые типы структур рудных полей, связанных с трубками взрывов, вулканическими сооружениями различного типа, вулкано-плутонами и т. д.

Широкое применение микроструктурного анализа при изучении структур скарновых месторождений В. Ф. Чернышевым и Ю. Г. Сафоновым показало, что в процессе формирования самих скарнов важную роль играют пластические деформации.

В рассматриваемый период структурными исследованиями практически были охвачены все генетические типы эндогенных месторождений и некоторые типы экзогенных. Проведенные исследования структурных особенностей месторождений, залегающих в различной геологической обстановке, показали исключительно важную роль физико-механических свойств вмещающих пород на локализацию оруденения. В связи с этим В. А. Королев, Ю. А. Розонов, Б. П. Беликов и др. провели для ряда рудных районов Средней Азии и Казахстана специальные изучения пористости и упругих свойств пород, вмещающих гидротермальное оруденение, и выяснение их роли в локализации руд. Было установлено, что для гидротермальных месторождений характерна повышенная пористость пород, благоприятная для локализации оруденения, и на ряде примеров доказано, что минерализация обычно развивается в породах, легко подверженных хрупким деформациям, и, как правило, не возникает в по-

родах, испытавших при тех же нагрузках пластические деформации.

Проведенные структурно-геологические исследования на многих рудных полях и месторождениях с учетом физико-механических свойств вмещающих пород позволили наметить структурные критерии поисков рудных тел, не выходящих на дневную поверхность, которые нашли отражение в специальном сборнике, посвященном памяти О. Д. Левицкого и в ряде статей, опубликованных в периодических изданиях. Было установлено, что рудные жилы обычно выклиниваются вверх по восстанию в связи с окончанием трещин под горизонтами пород, обладающих повышенной пластичностью, либо под поверхностями разрывных нарушений (Вольфсон, Лукин, 1965). В ряде случаев оруденение и не достигает таких пород на многие десятки и даже сотни метров и заканчивается в результате расщепления рудоносных трещин либо резкого изменения их элементов залегания. Опыт эксплуатации и разведки месторождений показал, что вертикальный размах оруденения в различных геологических условиях оказывается резко различным; в одних случаях скрытые рудные тела, не подверженные послерудной эрозии, заканчиваются на относительно небольших глубинах, составляющих первые сотни метров, в других, более редких случаях оруденение прослеживается на глубину 1,5—2, а иногда и более километров. Проведенные исследования показали, что вертикальный размах оруденения зависит от того, в каком структурном этаже и ярусе сформировалось оруденение, что в свою очередь определяет строение рудоносных разрывов, физико-механические свойства вмещающих пород и степень их метаморфизма.

В общем случае максимальным вертикальным размахом обладают гидротермальные месторождения, залегающие в образованиях нижнего структурного этажа.

Структурно-геологические исследования являются важным разделом в учении о рудных месторождениях, от успехов которого в значительной степени зависит правильное направление разведочных работ и, что особенно важно, поисков скрытых рудных тел. В рассматриваемый период этот раздел учения получил в нашей стране значительное развитие и геологи, работавшие в этом направлении, добились значительных теоретических успехов и практических результатов.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Минералогические исследования в рассматриваемый период базировались так же, как и в предыдущие периоды, на теоретических положениях, разработанных выдающимися отечественными минералогическими школами — В. И. Вернадского (генетическая) и Е. С. Федорова (кристаллохимическая). В изучении ми-

нералогии месторождений различных генетических типов важную роль сыграли новые классификации минералов. В настоящее время в минералогии всеобщее признание получила кристаллохимическая классификация минералов, разработанная Г. П. Барсановым, А. С. Поваренных, В. С. Соболевым и др. Она построена на учете степени однородности связей в структурах минералов, которая дала возможность разделить ее на кристаллохимические типы — гомодесмические (координационные) и гетеродесмические (островные, кольцевые, цепные, слоистые и каркасные). С применением совершенных методик расшифровки внутренней структуры минералов, эта классификация дала возможность внести много нового в понимание кристаллохимических взаимосвязей между минеральными индивидами. Большие достижения имеют место в раскрытии взаимосвязей между составом, структурой и свойствами минералов.

Успешно развивается кристаллохимическое направление в минералогии, возглавляемое Н. В. Беловым. Многочисленные расшифровки структур силикатов способствуют исключительно глубокому исследованию этого класса минералов. Н. В. Белов не только по-новому представил конституцию силикатов, но в сущности по-иному с позиции минералогии осветил сам процесс кристаллизации магматического расплава.

Существенные успехи достигнуты и в области изучения изоморфизма химических элементов в минералах. Этому во многом способствовала работа симпозиума по изоморфизму, проведенного в 1966 г. в Ленинградском университете. При решении вопросов изоморфизма большой интерес представили исследования по выяснению изменения свойств минералов переменного состава, использованию явлений изоморфных замещений в качестве типоморфных признаков, а также установление взаимосвязи между химизмом, структурой и свойствами минералов переменного состава (Лазаренко, 1967).

Много интересных работ проведено по выяснению взаимосвязи минералов, возникающих в различных условиях, и их оптических свойств, состава минералов и их плотности и т. д.

В рассматриваемый период большое развитие получило новое направление в минералогии, так называемая минералогическая кристаллография, которая зародилась ранее благодаря исследованиям А. Е. Ферсмана и Г. Г. Леммлейна. Сам предмет минералогической кристаллографии был сформулирован на совещании во Львове в 1966 г. К нему относится раздел кристаллографии и соответственно минералогии, изучающий кристаллографию, внутреннее строение и онтогению минеральных индивидов и их закономерных сростаний. При этом отмечалось, что минералогическая кристаллография рассматривает процесс образования кристалла минерала как результат взаимодействия и взаимосвязи его внешней формы с внутренним строением и физико-

химическими особенностями порождающей его среды. Основой минералогической кристаллографии является учение о простых кристаллографических формах и учение о реальных кристаллических фигурах, развиваемое И. И. Шафрановским и его учениками.

Большое значение получило изучение морфологии кристаллов минералов для выяснения генетических особенностей формирования минералов, корреляции горных пород различного происхождения, а также оценки качества минерального сырья. Важное значение имеет изучение типоморфных особенностей минералов, т. е. тех их признаков, которые характеризуют определенный процесс минералообразования, или его стадию. Знание морфологических особенностей кристаллов минералов позволяет в ряде случаев регулировать процесс извлечения полезных компонентов из обогащенных концентратов. Особенно это относится к извлечению алмазов.

Имеется и другая линия развития минералогической кристаллографии. Как известно, в нашей стране А. К. Болдырев один из первых показал возможность использования рентгенометрического метода для определения вещества минералов. Он со своими учениками еще в период предвоенных пятилеток начал разрабатывать «Рентгенометрический определитель минералов». Определение вещества с помощью такого определителя выражается в получении дебаеграммы (порошкограммы) данного минерала и отождествлении ее с одной из эталонных дебаеграмм определителя. В рассматриваемый период развил и углубил этот метод ученик А. К. Бодырева — В. И. Михеев, издавший в 1957 г. «Рентгенометрический определитель минералов».

Новый кристалломорфологический подход был особенно плодотворно использован Д. П. Григорьевым в разделе генетической минералогии — онтогении минералов. Последняя изучает явления образования минеральных индивидов и агрегатов — их зарождение, рост и изменение. Многочисленные минералогические исследования, проведенные большим коллективом минералогов, позволили по-новому рассмотреть условия минералообразования при различных процессах, протекающих в земной коре, — магматическом, пегматитовом, пневматолитовом, гидротермальном и экзогенном. Эти исследования существенно развили и углубили всю генетическую минералогию.

При изучении магматических месторождений особенно ценными явились минералогические исследования хромшпинелидов, проведенные Н. В. Павловым, а также медно-никелевых руд и платиноидов, изученных М. Н. Годлевским и А. Д. Генкиным. Много ценных сведений получено К. А. Власовым, А. И. Гинзбургом, В. Д. Никитиным, А. А. Беусом и их сотрудниками по изучению минералогии гранитных, а также щелочных, пегмати-

тов и частью грейзенов, что позволило существенно уточнить генезис этих своеобразных минеральных образований.

Большое внимание советские минералоги уделили изучению пневматолитового минералообразования. В этом отношении важное значение имеют теоретические исследования В. А. Николаева, которые показывают на широкое распространение пневматолитовых процессов при формировании разнообразных высокотемпературных минеральных ассоциаций. Однако пока не разработано точных критериев для отличия их от высокотемпературных гидротермальных образований.

Небывалый размах получили минералогические исследования гидротермальных месторождений, проведенные под руководством А. Г. Бетехтина, Д. С. Коржинского, Ф. В. Чухрова, Ф. Н. Шахова и др. Благодаря исследованиям Н. М. Страхова, Л. В. Пуствалова, И. И. Гинзбурга, Б. П. Кротова и др., получены значительные результаты в изучении минералогии экзогенных месторождений.

Конкретные результаты изучения минералогии месторождений всех упомянутых генетических типов будут рассмотрены ниже. Здесь следует лишь отметить, что в развитии генетической минералогии эндогенных процессов важным является изучение находящихся в минералах включений минералообразующей среды. Н. П. Ермаков, Г. Г. Грушкин, Ю. А. Долгов, В. Б. Наумов и др. широко развернули исследования в области определения температур формирования различных минералов методом гомогенизации и декрипитации этих включений. При этом удается достаточно уверенно отличать минералы, образующиеся из холодных вод, от гидротермальных, возникающих при высоких, средних и низких температурах. Представилось также возможным путем анализа включений в первом приближении определять химический состав минералообразующих растворов и давление в момент минералообразования.

Существенным достижением советской генетической минералогии в рассматриваемый период является дальнейшая разработка и углубление теории парагенезиса минералов, основы которой были заложены ранее В. И. Вернадским. В этом отношении особо должны быть подчеркнуты исследования Д. С. Коржинского и А. Г. Бетехтина, создавших новый метод парагенетического анализа силикатов, сульфидов и окислов. В основу метода положено выяснение физико-химических особенностей процессов минералообразования, позволяющее установить закономерности сочетания совместно образующихся минералов и понять наблюдаемую смену их парагенетических ассоциаций во времени и пространстве. Ниже этот метод будет рассмотрен подробнее.

Значительно шагнули вперед исследования в области изучения зон окисления сульфидных и урановых месторождений в связи с работами Ф. В. Чухрова и его сотрудников, геохимическими

исследованиями В. В. Щербины и специальными минералогическими работами В. Г. Мелкова, Г. С. Грицаенко и Л. Н. Беловой. Развитие этих работ в значительной мере способствовали новые методы изучения вторичных минералов с помощью электронного микроскопа (Г. С. Грицаенко и др.) и электронографии (Б. Б. Звягин и др.).

В рассматриваемый период большой объем работ проведен по изучению региональной минералогии крупных территорий и детальному описанию определенных групп наиболее важных минералов. В этом отношении особый интерес представляют описания минералогии отдельных районов и месторождений Урала (И. И. Гинзбург, И. А. Руковишника, А. А. Кухаренко, Э. М. Бондштедт-Куплетская, Т. Н. Шадлун), рудного Алтая (коллектив во главе с Б. И. Вейц), отдельных районов Украины (коллектив во главе с Е. К. Лазаренко), алмазных месторождений Якутии (коллектив во главе с В. С. Соболевым), минералов редких элементов (коллектив во главе с К. А. Власовым), минералогии золота Восточного Забайкалья и Саян (Н. В. Петровская), минералогии россыпей (А. А. Кухаренко) и многие другие.

В познании региональной минералогии важное значение имел выпуск обобщающих работ, сводок и справочников, среди которых особое место занимают многотомное издание «Минералы» под редакцией Ф. В. Чухрова и Э. М. Бондштедт-Куплетской, работы по электронной микроскопии Г. С. Грицаенко, «Рентгенометрический определитель минералов» В. И. Михеева. Большую роль в развитии минералогии сыграли многочисленные статьи, опубликованные в периодических изданиях и прежде всего в Записках Всесоюзного минералогического общества, в Трудах республиканских отделений Всесоюзного минералогического общества, Трудах Минералогического музея АН СССР, Минералогического сборника Львовского университета и т. д.

Для развития минералогических исследований и подготовки кадров геологов и минералогов большое значение имели учебники и учебные пособия по минералогии, в частности, новые издания «Курса минералогии» А. Г. Бетехтина, «Курс минералогии» Е. К. Лазаренко и др.

Об общем значительном размахе минералогических исследований в рассматриваемый период можно судить по открытию новых минералов. Согласно Е. К. Лазаренко (1967), базирующемуся на данных Минералогического музея АН СССР, с 1917 по 1966 г. в СССР в общей сложности открыто 296 новых минералов. По пяти десятилетиям эти открытия распределяются следующим образом: 1917—1926 гг.— 13, 1927—1936 гг.— 26, 1937—1946 гг.— 35, 1947—1956 гг.— 64, 1957—1966 гг.— 158.

В рассматриваемый период большой интерес представляли исследования советских геологов в области применения физико-химических принципов для объяснения сложных процессов минералообразования. Среди таких исследований прежде всего должны быть упомянуты физико-химические построения В. А. Николаева (1955), объясняющие процессы отделения летучих от магмы и позволяющие количественно учитывать растворимость летучих в магме. Для этой цели В. А. Николаев построил физико-химические диаграммы с допущением, что критическая кривая пересекает трехфазную кривую в одной точке. Эти диаграммы основываются на экспериментах Горансона, согласно которым в расплаве гранитного состава при любом давлении может быть растворено не более 8 вес. % воды.

В. А. Николаев, кроме того, пришел к выводу, что достаточно разнообразные по составу соединения, растворимые в жидкой воде, растворяются легко и в надкритической фазе воды, давая надкритические растворы, ненасыщенные такими соединениями. Эти соединения обладают заметными или значительными концентрациями солей порядка нескольких процентов или даже первых десятков процентов по весу, при температурах и давлениях более высоких, чем критические для чистой воды (система с особым компонентом С). К таким возможным солям В. А. Николаев относит легко растворимые силикаты щелочей, а также их алюминаты, карбонаты и хлориды. Все они, по его данным, обладают резко повышенной растворимостью в H_2O в надкритической фазе по сравнению с растворимостью породообразующих силикатов и кремнезема.

По данным В. А. Николаева, намечаются три возможных способа образования гидротермальных растворов.

1. В результате миграции газовой фазы во вмещающие породы при сравнительно высоких температурах этапа магматической дистилляции. При этом в результате взаимодействий с вмещающими породами и охлаждении, нередко претерпевая существенные изменения состава, готовая фаза будет переходить в состояние сжатого гидротермального раствора. При понижении внешнего давления она будет конденсироваться с образованием жидкой фазы меняющегося состава.

2. В результате охлаждения газовой фазы, остающейся в интрузивных породах после кристаллизации расплава, в системах без особого компонента С.

3. В системах смешанного типа с особым компонентом С гидротермальные растворы могут представлять собой водный остаточный раствор, выделившийся из кристаллизующегося расплава на этапах более поздних по отношению к магматической дистилляции.

Исключительно ценные экспериментальные исследования,

вносящие много новых данных для решения проблемы отделения летучих от магмы, проведены И. А. Островским. Он экспериментально установил важную роль парциальной упругости водорода (кислорода) в ходе развития процессов глубинного минералообразования. На основании результатов его работ построен ряд РТ-диаграмм равновесных состояний, позволяющих анализировать подобные процессы. В частности, он показал, в противовес ранее имевшемуся мнению, что кварц может быть устойчив до температур более 1300° (ранее максимальной температурой устойчивости кварца считалось 870°) при давлении более 2000 атм.

И. А. Островский установил, что растворимость воды в силикатном расплаве достигает 10% , и впервые получил основание полагать, что это количество может быть еще увеличено. Он установил также, что в силикатном расплаве, помимо воды, несомненно находится также гидроксил. Большой интерес представляет эксперимент по нагреванию включений жидкости в топазе под давлением. Выяснилось, что когда образец был подвергнут нагреванию до 700° , топаз начал растворяться, и в общей сложности в раствор перешло 15% топаза. Этот эксперимент показывает, что пегматитовый раствор, из которого кристаллизовался топаз, по своему состоянию являлся насыщенным высококонцентрированным раствором.

Д. С. Коржинский (1958) развил свои исследования в области метасоматических процессов, в частности, им были получены интересные данные об условиях образования метасоматической зональности в гидротермально измененных породах. По его данным, эта зональность вызывается в значительной степени изменением кислотности растворов. Последняя же в свою очередь зависит от кислотно-фильтрационного эффекта и опережающей волны кислотных компонентов, находящихся в потоке послемагматических растворов. Д. С. Коржинский рассматривает возможность проявления этого сложного процесса в колонке горных пород, система пор в которых заполнена застойными водными растворами. В какой-то момент в эту колонку снизу в паровые растворы поступает порция кислотных компонентов (CO_2 , HCl , H_2S , SO_2 и т. д.), под влиянием градиента давления поднимающихся кверху и вызывающих волну кислотности в поровых растворах колонки пород. Очевидно, в этом случае в каждом сечении колонки пород вначале возрастает кислотность поровых растворов, что вызывает выщелачивание пород, а затем кислотность понижается, что приводит к обратному выпадению выщелоченных компонентов. В результате в условиях застойности поровых водных растворов состав пород не изменяется, а они только подвергнутся перекристаллизации. Однако если при этом водные поровые растворы приобретут способность фильтроваться вверх по колонке, но более медленно, чем проходящая через

них волна кислотных компонентов, то в каждом взятом сечении будут наблюдаться компоненты, перенесенные растворами из пород, находящихся на несколько более глубоких горизонтах.

Рассматривая возможный состав инфильтрационной послемагматической колонки в вертикальном разрезе в направлении снизу вверх, исключая приповерхностные части, в пределах которых растворы могли обогатиться кислородом атмосферы, Д. С. Коржинский намечает следующие зоны.

1. Зона нарастающей волны кислотности. Вытеснение сильных оснований слабыми, выщелачивание и окварцевание усиливается вверх. Последующее осаждение оснований происходит слабо или практически отсутствует.

2. Зона максимальной кислотности. Выщелачивание резко преобладает над последующим осаждением, причем осаждаются преимущественно наиболее слабые основания (глинозем, железо).

3. Зона затухающей волны кислотности. По направлению кверху проявление кислотной стадии ослабевает, а щелочной возрастает, причем осаждаются более основные минералы. Вверху осаждение преобладает над выщелачиванием.

Изложенные представления Д. С. Коржинского позволяют по-новому подойти к выяснению хода развития послемагматических процессов, которые ранее не находили своего объяснения. В частности, зона максимальной кислотности проявляется близ контактов магматических тел, иногда в их эндоконтактной части, где локализуются пегматиты, грейзены и зоны окварцевания. На удалении от массивов возникают телетермальные рудные и безрудные жилы — карбонатные, флюоритовые, баритовые и др., при образовании которых осаждение преобладало над выщелачиванием, вплоть до исчезновения следов выщелачивания.

В рассматриваемый период широкую известность приобрела гипотеза А. П. Виноградова (1961, 1962) о возможной аналогии процессов выплавления вещества земной коры из мантии механизму зонного плавления. Анализируя результаты зонной плавки силикатной фазы хондритов и применяя геохимический анализ распределения химических элементов между дунитами, базальтами и метеоритами, А. П. Виноградов пришел к выводу, что в процессе выплавления и дегазации легколетучих веществ из мантии происходит разделение вещества мантии на дуниты и базальтическое вещество. Этот вывод несомненно имеет важное значение для решения вопроса об источниках специализированных магм, формирующих собственно магматические месторождения, а также месторождения других генетических типов.

Важные идеи в области формирования эндогенных месторождений были высказаны Г. Л. Пospelовым (1963). Он попытался проанализировать особенности формирования тепловых флюидопроводников, к которым, в частности, могут быть отнесены пред-

рудные интрузивные массивы, с которыми ассоциируют эндогенные месторождения различных металлов. Автор вводит понятие «зона стволового растекания фильтрующейся термогидроколонны», которое соответствует зоне, наиболее благоприятной для рудообразования, и анализирует значение гидроразрыва и кислотного выщелачивания при рудообразовании.

Г. Л. Поспелов разделяет флюидопроводники на каналные, которыми являются полости разрывных нарушений, и тепловые. Горячие флюидопроводники обладают более высокой проницаемостью, чем идентичные холодные. Те флюидопроводники, которые стали динамическими благодаря свойствам, приобретенным в результате достаточно высокой температуры, Г. Л. Поспелов называет тепловыми. По его представлению, наиболее важное значение в фильтрации магматогенного рудообразующего флюида имеет предрудный интрузив, который в период деятельности флюида является наиболее высоконагретой горной массой. В интрузивном массиве с развитой зональностью Г. Л. Поспелов выделяет структурно-ядерную зону (сплошные плотные изверженные массы, обычно наиболее сухие) и структурно-ореольную. Он приходит к выводу, что взаимосвязи и конкретные отношения между первичными тепловыми и каналными флюидопроводниками в период развития динамических флюидопроводников, по-видимому, и создают сложную гамму типов метасоматических месторождений от собственно контактово-метасоматических до трещинных гидротермальных.

Немаловажную роль в формировании зоны стволового растекания играют явления гидроразрыва. Геологический гидроразрыв, по Г. Л. Поспелову, обязан прежде всего тектоническим явлениям, происходящим при тектоническом растяжении с образованием рвущего паро-газового давления. Гидроразрывы делятся на два основных типа: рассеянный, или точечный, а также камерно-древовидный, или линейный. Первый из них может осуществляться скоплением жидкости в трещинке или поре и развиваться в массе изолированных участков. Второй может проявляться путем разрастания сети трещин под действием рвущей жидкости, отходящей от водосодержащей камеры.

С удалением от главного флюидопроводника, а следовательно, с понижением температуры и напора, рудоносный флюид становится все более склонным к гидродинамической дифференциации с разделением по относительной проницаемости на потоки, различающиеся по составу. В период гидроразрывов и первой стадии высокого обводнения слабо концентрированный флюид будет продвигнут на максимальное расстояние. В дальнейшем на некотором расстоянии от главного канала должны начаться его фазовое расслоение и гидродинамическая дифференциация, усиленная явлениями фильтрационных эффектов, термодиффузии и т. д.

Не отрицая возможное значение предрудных интрузивов как тепловых флюидопроводников, следует отметить, что в ряде рудных полей эндогенных месторождений оказываются рудоносными не только штоки изверженных пород, внедрившихся непосредственно перед оруденением. Рудоносными оказываются также штоки субвулканических и интрузивных пород, внедрившихся задолго до рудообразования и к моменту оруденения полностью застывших. При этом часто удается доказать, что оруденение локализуется в этих породах в связи с их благоприятными физико-механическими свойствами, в частности, их повышенной трещиноватостью, вызванной способностью к хрупким деформациям.

В данный период появилось много работ, рассматривающих и другие стороны образования эндогенных месторождений. Например, Ф. К. Шипулин (1963) пришел к выводу, что в толще пород, включающих сульфидные рудные тела, до процессов оруденения под действием магматического тепла и в результате процессов термодиффузии накапливаются сульфатные воды. Проявление разломов в процессе оруденения, пересекающих участки сосредоточения минерализованных подземных вод, обуславливает проникновение рудоносных растворов из магматического очага. Взаимодействие этих растворов, содержащих в своем составе ювенильную серу с ранее накопившимися сульфатными водами, приводит к выпадению сульфидов. Водород и окись углерода играют роль восстановителей сульфатной серы. Наличие двойного источника серы в рудах подтверждается изучением ее изотопного состава.

Ф. В. Чухров (1964) большое значение придает грунтовым водам в образовании эндогенных месторождений. В этом вопросе он поддерживает А. А. Саукова, который еще в 1946 г. указал на важное значение разбавления магматогенных вод вадозными для образования месторождений киновари.

Ф. В. Чухров пришел к выводу, что образование шеелита, частью обогащенного молибденом в штокверковых телах надинтрузивных зон экзоконтакта, и его отсутствие в аналогичных ассоциациях в типичных жильных телах зон эндоконтакта вызвано смешением магматогенных растворов с вадозными, которые обычно резко обогащены кальцием. Наличие в вадозных водах кислорода обусловило переход части молибдена из четырехвалентного в шестивалентное состояние и благодаря этому сделало возможным вхождение молибдена в решетку шеелита. В жильных телах зон эндоконтакта такого смешения не было и соответственно не создавались условия для такого вхождения.

Согласно представлениям Г. И. Князева и Р. С. Сейфулина (1966), формирование эндогенных сульфидных месторождений может происходить по меньшей мере тремя путями.

Согласно первому из них, существуют различные способы

привноса рудоносными растворами катионов металлов и анионов серы в зону рудоотложения. Руды в этом случае возникают в местах пересечения разрывных нарушений между собой, либо на пересечении разрывами горизонтов проницаемых пород, т. е. в тех участках, где создаются условия слияния растворов разного состава и разного генезиса. При этом рудоносные растворы, переносившие ионы металлов на значительные расстояния от магматического очага, имели возможность проникать в обводненные горизонты пород, содержавших свободный сероводород. В условиях восстановительной среды происходит осаждение сульфидов в результате реакций растворимых соединений металлов (хлоридов, бикарбонатов и др.) с сероводородом не ювенильного происхождения. Источником серы могут также служить сульфатные подземные воды, если они оказывались под воздействием сильных восстановителей, присутствовавших в рудоносных растворах (например, окись углерода, водород).

Второй путь формирования сульфидных месторождений предполагает привнос рудоносными растворами ионов одного типа (металлов или серы) при наличии других компонентов в зоне рудоотложения. В зависимости от исходных компонентов и форм их нахождения допустимы два способа возникновения сульфидов: а) привнос катионов металлов рудоносными растворами и осаждение их в ходе реакций с возникшими ранее сульфидами, б) миграция катионов металлов и анионов серы в рудоносных растворах под воздействием теллурических токов и фиксация сульфидов на природных электродах или выпадение их в виде труднорастворимых продуктов химических реакций. Попадая в сферу действия электрического поля, проявленного в рудоносных растворах, зоны пиритизации и пласты с органическим веществом играют роль природных катодов и служат местом фиксации катионов металлов (свинец, цинк, медь и др.) в виде сульфидов или самородных элементов (золото, серебро). Ионы серы и металлов способны проникать к месту рудонакопления под действием разности потенциалов между верхними и нижними частями пиритизированных зон и пластов, обогащенных органическим веществом, обеспечивавшей возникновение встречного потока катионов металлов и анионов серы.

В рассматриваемый период новые интересные сведения были получены геофизиками и вулканологами по внутреннему строению земной коры и условиям магмообразования. В Тихоокеанском поясе подтвердился глубинный разлом, намеченный ранее А. Н. Заварицким. Этот разлом, уходящий глубоко в мантию и наклоненный в сторону Сибирской платформы, получил наименование «фокальная зона», которая отделяет континентальную кору от океанической, различающихся разной глубиной нахождения слоя Гутенберга (120—140 км от поверхности земли в

континентальной коре и 60—80 км в океанической). Камчатские вулканы расположены в всячем боку фокальной зоны. Отличительной особенностью этой части рассматриваемого пространства является то, что слой Гутенберга резко приближается к мантии, и не вызывает сомнения также и то, что здесь происходит выплавление магмы и возникновение глубинных магматических очагов, частью инъецирующих в более высокие части земной коры. Изучение поведения коротких сейсмических волн, особенностью которых является непрохождение через жидкую среду, показывает, что колонны жидкой магмы диаметром порядка 25 км и высотой до 60 км находятся на глубине 5—10 км под конусами вулканов. Г. С. Горшков, изучавший данный вопрос, пришел к выводу, что магмообразование и обусловленное им в период действия вулканов лаваобразование происходят на больших глубинах, превышающих 50—60 км. Высокий геотермический градиент в вулканогенных областях приводит исследователей к выводу, что сквозь колонны расплавленной магмы, залегающие под жерлами современных вулканов, из мантии в верхние горизонты проникают горячие газовые струи.

По данным С. И. Набоко (1968), гидротермальные системы, развитые в современных вулканических областях, имеют глубинное происхождение. Нахождение в этих системах таких элементов, как цезий и др., полностью отсутствующих во вмещающих толщах, позволили заключить С. И. Набоко, что они связаны с мантией.

Детальное изучение возрастных соотношений оруденения с магматическими породами и контроль его глубинными разломами позволили А. В. Королеву (1959) сделать вывод, что при формировании эндогенных месторождений рудоносные растворы поступают из значительных глубин. При этом те элементы, которые поступают из мантии, играют роль растворителей. Рудные элементы заимствуются восходящими глубинными растворами внутри земной коры, через которую они просачиваются, т. е. в базальтовой и гранитно-осадочной оболочке. В последнее время все более настойчиво высказывается предположение, что и металлические элементы заимствуются из подкоровых глубин. В. И. Смирнов на Пятом Всесоюзном металлогеническом совещании, происходившем в июне 1968 г. во Фрунзе, посвятил свой доклад анализу источников рудообразующих веществ. Учитывая наблюдаемые геологические данные, установленные вариации соотношений изотопов серы в рудах и другие признаки, он выделил три основные группы источников рудообразующих веществ эндогенных рудных месторождений: 1) ювенильную, связанную с подкоровой базальтовой магмой, 2) ассимиляционную — с палингенной гранитной магмой земной коры и 3) фильтрационную, связанную с немагматической циркуляцией подземных вод. На ранней стадии геосинклинального цикла прева-

лируют подкоровые базальтовые, на средней — коровые гранитоидные, на поздней стадии в платформенный период — подкоровые, коровые и внемагматические источники, соотношения которых различны для разных провинций.

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Значительные достижения были получены в области изучения титаномагнетитовых, хромитовых, медно-никелевых и апатитовых месторождений собственномагматического происхождения. Исследования И. И. Малышева (1957) показали, что титаномагнетитовые месторождения находятся в генетической связи как с габброидной, так и щелочной магмой. Для первых из них по составу материнских интрузий И. И. Малышев выделяет три генетических типа месторождений: 1) в анортозитовых и габброанортозитовых массивах — ильменитового, гематит-ильменитового, магнетит-ильменитового и реже рutil-ильменитового состава, 2) в габбровых, габбро-норитовых и габбро-амфиболитовых массивах — ильменит-магнетитового, иногда титаномагнетитового состава (последние связаны преимущественно с малыми интрузиями габброидной магмы), 3) в ультраосновных массивах — в основном титано-магнетитового состава с низким содержанием титана.

Среди месторождений, связанных со щелочным комплексом пород, также выделяются три генетических типа: 1) в ультраосновных — щелочных породах — knobито-титаномагнетитового состава, 2) месторождения в стратифицированном комплексе луюврит-фойяит-уртит-лопаритового состава, 3) в нефелиновых и щелочных сиенитах, содержащих ильменорutil, ильменит и сфен.

Согласно представлениям И. И. Малышева, сплошные титаномагнетитовые руды во всех упомянутых типах месторождений образуются в тектонических зонах, возникающих на последних этапах формирования интрузива, когда отжимается остаточный магматический расплав, обогащенный рудными и летучими компонентами.

Благодаря исследованиям В. С. Мясникова (1959) существенно изменились представления об условиях образования титаномагнетитовых месторождений Урала. В. С. Мясников показал, в противовес ранее имевшимся представлениям, что рудные тела Кусинского титаномагнетитового месторождения возникли не путем внедрения рудной фракции в трещины, а в результате глубокого метаморфизма рудных залежей, приуроченных к определенным горизонтам стратифицированного комплекса габбро. В общей сложности титаномагнетитовое оруденение подвергалось трем видам метаморфизма: региональному, контактово-

му и гидротермальному. Первоначально железо-титановые руды всех месторождений Южного Урала слагались титаномагнетитом с постоянным содержанием главных элементов Fe, Ti, V, Cr.

Вследствие процессов метаморфизма различной интенсивности вмещающие породы и руды южной части (Копанский массив) сохранили почти полностью свой первоначальный облик. В северной части (Кусинский массив) проявлялся интенсивный региональный метаморфизм, приведший к появлению путем избирательной кристаллизации пластинчатых продуктов распада твердых растворов зернистых выделений ильменита и титаномагнетита, что в свою очередь существенно повысило качество характеризующихся руд.

Новые данные по изучению условий образования месторождений хромитов Кимперсайского массива были опубликованы Н. В. Павловым и И. И. Чупрыниной (1966), а также Г. Г. Кравченко (1962).

Эти исследования подтверждают более ранние представления советских ученых о позднемагматическом происхождении хромитов. Вместе с тем исследования последних лет показали, что промышленные концентрации хромитов, размещающихся в рудоносных зонах, являются эпигенетическими по отношению к основной массе пород (гарцбургитов), слагающих массив.

Сингенетические образования хромитовых месторождений, находящиеся в перидотитах массива, отличаются от первых малым размером рудных тел и низким качеством руд.

В тесной связи с формированием хромитовых месторождений из рудно-силикатного расплава находятся метасоматические процессы, которые приводят к образованию некоторой части дунитов, пироксеновых дунитов и убогих хромитовых руд, жил и прожилков пироксенитов и других пород, развивающихся по гарцбургитам. Хром накапливается в хромшпинелидах на разных этапах становления плутона начиная от собственно магматического и кончая гидротермальным. При этом четко намечается повышение относительной железистости от хромшпинелидов собственно магматического происхождения ($MgO:FeO > 2$) к хромшпинелидам, образование которых связано с процессами метасоматоза ($MgO:FeO = 1,0-1,5$).

Благодаря исследованиям М. Н. Годлевского, Г. Б. Роговера, Н. А. Елисеева, Г. И. Горбунова, Н. С. Зонтова, Е. К. Козлова, Н. А. Корнилова, Р. В. Карпова, В. А. Масленникова, Г. В. Холмова, М. В. Денисовой, А. Д. Генкина, П. В. Лялина, Н. Н. Шишкина и других значительно углубились наши представления по геологическому строению, структурным особенностям, минеральному составу и условиям образования медно-никелевых руд магматического происхождения.

М. Н. Годлевский (1959, 1961, 1967), анализируя условия образования Норильского месторождения, показал, что в отли-

чие от условий кристаллизационной дифференциации Скаергардской интрузии в Гренландии, где вместе с кристаллизацией происходит увеличение абсолютного процентного содержания железа в магматическом остатке и образование феррогаббро, в габбро-диабазе Норильского района в магматическом остатке происходит накопление железа только по отношению к магнезию, а абсолютное содержание железа непрерывно падает. Именно при таких условиях кристаллизационной дифференциации развиваются процессы ликвации сульфидов. Вместе с тем в интрузиях Норильска проявляются типичные черты глубинного происхождения их материнской магмы и многие черты сходства с гипербазитами. Они недосыщены кремнеземом, щелочами, титаном и содержат значительный избыток магнезия, частью хрома, а также серы и тяжелых металлов. Магма дифференцированных интрузий вместе с тем является гибридной, изменившей свой первичный состав вследствие глубинной ассимиляции. Последняя является дополнительным фактором, обусловившим ликвацию, которая началась в абиссальных условиях и быстро сменилась ликвацией в современной магматической камере в близкоповерхностных условиях. Согласно М. Н. Годлевскому, выявленные типы медно-никелевых руд в основном возникли в результате ликваций в близкоповерхностных условиях. М. Н. Годлевский придерживается в отношении происхождения главной массы медно-никелевых руд теории магматической ликвации на достаточно больших глубинах. Относительно высокотемпературные условия возникновения норильских ликвационных руд подтверждаются, по его данным, наличием в них высокотемпературных минералов, широким развитием твердых растворов и т. д. В процессе кристаллизации руд происходит их дифференциация, причем в остатке накапливается медь, щелочи и летучие компоненты. Крайними продуктами дифференциации являются борнит-миллеритовые жилы и миллеритовая вкрапленность. Особенности развития остаточного сульфидного расплава, по представлению М. Н. Годлевского, заключаются в превращении его, с одной стороны, в борнит-миллеритовый щелочной раствор, а с другой — в типичный гидротермальный раствор, резко отличный по составу от расплава и отделившийся от него через ретроградное кипение.

Таким образом, по данным М. Н. Годлевского, сложный сульфидный расплав, отделившийся от материнской магмы вследствие пересыщения ее серой и содержащий некоторые количества петрогенных элементов и летучих, в процессе остывания и кристаллизации превратился в водный раствор, несущий главным образом медь.

Несколько других взглядов на генезис руд месторождений Норильского района придерживается Г. Б. Роговер (1959). По его представлениям, среди вкрапленных руд Норильска следует

различать две разновидности руд, отличающиеся по происхождению, времени образования и составу. Руды, развитые в породах, подстилающих интрузию габбро-диабазов и получившие название «контактовые», сформировались до появления интрузии в месте современного ее залегания, были отчасти срезаны ею и сохранились в виде остаточных тел. Разрушение и перетолжение контактовых руд обогатили габбро-диабазы металлами в направлении ее движения с юга на север. Соответственно, более выдержанные и простые условия залегания рудных тел имеют место в направлении с севера на юг, что дало возможность Г. Б. Роговеру обосновать возможность разведки промышленных запасов вкрапленных руд южной части Норильского рудного поля по разреженной сети 200×200 м и подтвердить этот вывод математическим анализом данных, полученных при разведке северной части месторождения.

Н. А. Елисеев на основании выявления на Мончегорских медно-никелевых месторождениях возрастных взаимоотношений сульфидного оруденения и даек интрузивных пород, а также наблюдаемого явления метасоматического замещения высказал предположение о гидротермальном происхождении этих месторождений. Затем эта гипотеза была распространена и на все другие типы медно-никелевых сульфидных месторождений. Кроме того, Н. А. Елисеев отводит большую роль процессам переотложения и перекристаллизации сульфидов. Однако, признав несостоятельным представление о кристаллизации сульфидов из рудной магмы, Н. А. Елисеев оставляет открытым вопрос, каким образом и из каких гидротермальных растворов возникло рассеянное, сингенетичное с силикатами сульфидное оруденение.

В выяснении условий образования медно-никелевых руд большое значение приобрели исследования Г. И. Горбунова (1965) на месторождениях Печенги. Детальное изучение возрастных соотношений между минеральными агрегатами и отдельными минералами, слагающими сульфидные медно-никелевые руды, вкрапленные в серпентинитах, брекчиевые, сплошные сульфидные и прожилково-вкрапленные в сланцах убедительно указали на исключительную сложность и длительность их формирования. Достоверно установлено, что по мере падения температуры происходила закономерная смена одной парагенетической ассоциации другой, формировавшихся в существенно отличных физико-химических условиях.

Процесс рудообразования отчетливо разбивается на три этапа — собственно магматический, пневматолито-гидротермальный и гидротермальный — и ряд стадий. В позднемагматическую стадию раннего этапа выделились магнетит, ильменит, а также основная масса пирротина, пентландита, халькопирита и частичного кубанита. В течение пневматолито-гидротермального этапа

формировались повышенные количества хризотила, антигорита и серпофита, а также хлорита в парагенетической ассоциации с магнетитом, пирротином, пентландитом, халькопиритом, сфалеритом, борнитом, валлериитом и виоларитом. В гидротермальный этап отлагались тремолит, хлорит, серпофит, ильваит, тальк, карбонаты, кварц, магнетит, пирротин, пентландит, халькопирит, сфалерит, галенит, кобальтин, никелин, арсенопирит и минералы платины. В гидротермальном этапе выделяется стадия гидротермального метаморфизма и метаморфизма руд в связи с движениями по разрывным нарушениям и стадия последующей кварц-кальцитовой минерализации.

Значительная часть сульфидных руд претерпела интенсивный метаморфизм под воздействием ориентированного давления и высоких температур, выразившийся в развитии хрупких и пластических деформаций рудных минералов, перекристаллизации и частичной миграции руд, но без существенного изменения их минерального состава.

Н. С. Зонтов (1959) показал, что в пределах месторождений Норильского района локализация рудных тел контролируется, с одной стороны, элементами внутренней структуры и поверхностью дна габбро-диабазовых интрузивов (сингенетическое, вкрапленное и шлировое оруденение), а с другой, — элементами послемагматической трещинной тектоники (жильное оруденение). Сингенетическое вкрапленное оруденение локализуется в придонных частях почти на всей площади интрузивов, образуя более обогащенные участки в углублениях дна. Шлиры сплошных сульфидов, окруженные вкрапленными рудами, располагаются обычно в углублениях и впадинах дна интрузива, играющих роль коллекторов.

Е. К. Козлов (1960), рассматривая условия образования медно-никелевых сульфидных месторождений, представляет себе рудообразующую систему в виде тяжелой жидкости, типа «соляной рапы», насыщенной водой и сероводородом. Проведенные Н. А. Корниловым исследования на месторождении Печенга показывают, что сульфидные медно-никелевые руды и вмещающие их материнские породы, образовавшиеся в процессе магматической дифференциации, претерпели последующую перекристаллизацию и метасоматоз в связи с автосоматическими и гидротермальными процессами. Р. В. Карпов изучил пегматитовые образования на Мончегорском месторождении, среди которых он выделил: 1) пологозалегающие прослои и шлиры габбро-пегматитов, 2) жильные габбро-норитовые и диоритовые пегматиты и 3) зональные гигантозернистые плагиоклаз-пироксеновые пегматитовые штоки, связанные постепенными переходами с рудными жилами. Р. В. Карпов, так же как и Н. А. Корнилов, приходит к выводу, что упомянутые переходные образования связаны с явлениями перекристаллизации и метасоматоза.

В. А. Масленников попытался проанализировать состояние рудной фракции, в связи с кристаллизацией которой образуются сульфидные медно-никелевые руды. Согласно его представлению, рудная фракция обладала повышенной подвижностью, но в то же время она являлась высококонцентрированным образованием, обладающим повышенной плотностью и вязкостью.

Г. В. Холмов под сульфидной магмой понимает высокотемпературный раствор, обладающий способностью к инъекции, а также к замещению пород интродуцируемой среды. Он установил стадийность образования рудных жил Ниттис-Кумужья на Мончегорском месторождении. По его представлению, руды месторождения Печенга также являются многостадийными. В первую стадию происходила концентрация сингенетически вкрапленного оруденения, а в последующие стадии — перераспределение рудного вещества гидротермальными растворами. М. В. Денисова также высказывает мнение о многостадийном формировании руд Мончегорского месторождения.

А. Д. Генкин (1959) выяснил условия распределения платиновых минералов в рудах Норильского месторождения, содержание которых увеличивается при увеличении в рудах халькопирита и кубанита, а также в всячих боках рудных жил. Платиновые минералы выделяются позднее пирротина, пентландита и халькопирита и близко одновременно с самородным золотом и галенитом, которые встречаются в некоторых жилах. Исследования показали, что платиновые минералы возникли из остаточного расплава, обогащенного летучими компонентами. Платиновые минералы, общее количество которых превышает 8, представляют собой соединения платины с рядом компонентов. Преобладают твердые растворы платины со значительным содержанием иридия (до 8%). Присутствует также палладий (до 2%), железо (около 10%), никель (около 4%), медь (до 1%), олово (до 8%) и некоторое количество сурьмы и ртути. Кроме того, в Норильских рудах установлено интерметаллическое соединение свинца и палладия с составом Pd_4Pb , а также подтверждено наличие сперрилита и сульфида палладия.

П. В. Лялин (1956) изучил структурные особенности и историю развития тектоники и рудообразования на медно-никелевых месторождениях Мончегорского рудного района. Им было показано, что оруденение, развитое в виде жил, локализуется в продольных сколовых нарушениях, которые возникли до формирования сбросов, косо ориентированных к оси интрузивов. Жилы образовались позднее даек основных пород.

Н. Н. Шишкин показал, что в медно-никелевом сульфидном месторождении Иокодовыренского массива основных и ультраосновных пород, находящемся в Байкальской складчатой области, развиты сингенетические вкрапленные руды и эпигенетические прожилково-вкрапленные руды в дайках пегматоидного

габбро, а также жилообразные тела брекчиевых руд, несколько отличающиеся по соотношению никеля и кобальта, а также никеля и меди.

Краткий обзор главнейших исследований магматических месторождений свидетельствует о том, что советские геологи проводят работы всесторонне, с различных позиций, в результате чего представления по условиям образования этих месторождений в последнее время существенно углубились.

В генетической связи с нефелиновыми сиенитами находятся месторождения редких земель, ниобия, тантала, циркония, гафния, стронция, галлия и других редких элементов. Современные представления об условиях образования и закономерностях размещения упомянутых месторождений получены в результате исследований К. А. Власова и его сотрудников, О. А. Воробьевой, В. И. Герасимовского, Н. А. Елисеева, Т. Н. Ивановой и др.

Нефелиновые сиениты, несущие магматические месторождения редких элементов, всегда представлены агпитовыми разностями. Массивы эти, согласно К. А. Власову, Е. М. Еськовой и Т. Н. Ивановой, представляют собой интрузивные образования центрального типа, сформировавшиеся в несколько фаз интрузивной деятельности, либо являются отчетливо расслоенными интрузивами, сложными нефелиновыми сиенитами резко различного петрографического состава, с преобладанием люавритов, фойяитов и уртитов. В некоторых расслоенных массивах наблюдается тонкое послойное чередование пород лейкократового и меланократового составов, образующих отдельные многократно повторяющиеся в пределах серии трехчленные пачки, иногда измеряющиеся несколькими десятками при мощности их от долей метра до сотен метров. Такие горизонты оказываются выдержанными по простиранию и прослеживаются по всей площади массивов.

Поскольку наблюдается одинаковый порядок чередования пород в различных частях массива и между отдельными горизонтами пород в каждой пачке наблюдаются постепенные переходы, большинство исследователей приходят к выводу, что наблюдаемая стратификация вызвана дифференциацией магматического расплава и его кристаллизацией на месте. Некоторые геологи высказывают предположение, что наблюдаемая расслоенность массива вызвана послойными внедрениями щелочных пород разного состава. Геолого-геохимические исследования последних лет подтверждают первое представление.

Среди редкометальных месторождений, связанных с нефелиновыми сиенитами, К. А. Власов и др. (1966) выделяют: 1) циркониевые, 2) редкоземельно-тантало-ниобиевые, 3) тантало-ниобиевые, 4) редкоземельно-стронциевые, 5) галиевые.

Циркониевые магматические месторождения обычно сосредоточены в верхних частях стратифицированных массивов, сло-

женных эвдиалитовыми луювритами мощностью от 150 до 500 м. В пределах этих пород собственно эвдиалиты представлены линзообразными и неправильными телами, залегающими согласно со стратификацией вмещающих пород. Эвдиалитовые руды широкое развитие получили в Ловозерском и других массивах, запасы их огромны. Однако руды эти бедные, технология их переработки не разработана и они пока не получили промышленного значения. Учитывая, что наряду с цирконием и гафнием они содержат также ниобий и иттрий, в будущем они, очевидно, будут разрабатываться.

Редкоземельно-тантало-ниобиевые месторождения представлены лопаритовой и ломоносавит-мурманитовой минерализацией. Лопаритом обогащаются темноцветные разновидности нефелиновых сиенитов и уртиты, сложенные мономинеральным нефелином. Ломоносавит-мурманитом обогащены полевошпатовые разновидности нефелиновых сиенитов. Максимальные концентрации лопарита приурочиваются к горизонтам уртитов. Однако наибольшее экономическое значение, по-видимому, представляют обогащенные лопаритом меланократовые сиениты в связи с их большой мощностью. Лопаритовые месторождения, связанные с нефелиновыми сиенитами, несмотря на трудность переработки их руд, видимо, в ближайшее время явятся наиболее важными для промышленного освоения на ниобий, тантал и редкие земли.

Большая часть исследователей, изучавших эти месторождения (В. И. Герасимовский, Н. В. Иванов и К. А. Власов), относят их к магматическим образованиям. Однако О. А. Воробьева и Н. А. Елисеев часть лопаритовой минерализации связывают с пневматолитовой деятельностью, часть — с аутометасоматической в связи с эпигенетическими изменениями вмещающих пород на контакте со скоплениями лопаритов. Эти представления заслуживают пристального внимания.

Редкоземельно-стронциевая минерализация связана с крупными скоплениями апатита в нефелиновых сиенитах. В этих образованиях содержание TR_2O_3 достигает 8%, SrO 6%.

Сами же апатиты концентрируются в двух типах магматических месторождений: 1) апатитосодержащих нефелиновых сиенитах и 2) собственно апатитовых и апатит-нефелиновых породах, возникших в результате кристаллизации своеобразной апатитовой магмы на поздних этапах формирования многофазных щелочных интрузивов центрального типа.

Галлиевые месторождения, связанные с нефелиновыми сиенитами, в качестве перспективных для разработки впервые выделены К. А. Власовым и др. (1966). Повышенные количества галлия характерны для уртитов и содалитовых сиенитов, которые могут рассматриваться в качестве сырья на алюминий и попутно на галлий.

ПЕГМАТИТЫ

Современный период изучения минеральных месторождений, связанных с пегматитами, характеризуется не только углубленными минералого-геохимическими исследованиями, начало которым в свое время положил А. Е. Ферсман, но также и большим объемом геологических исследований. В результате был собран новый ценный фактический материал по условиям образования и закономерностям размещения рудных полей и месторождений в пределах пегматитовых полей. Существенно уточнены сложившиеся ранее представления о возрасте пегматитовых рудных полей в различных провинциях, их структурно-геологической позиции, глубине формирования пегматитов, зональности в размещении различных минеральных ассоциаций. Плодотворно продолжается начатая в предыдущий период общая дискуссия о генезисе пегматитов.

Основные результаты проведенных исследований нашли отражение в работах К. А. Власова, А. Г. Гинзбурга, А. А. Беуса, Ю. П. Ивенсена, А. Н. Захарченко, С. А. Руденко, В. Н. Герасимовского, Ю. М. Соколова, Г. Г. Родионова, В. Д. Никитина, Н. А. Солодсва, И. Б. Недолгова, С. С. Щербина, К. Л. Бабаева, Г. М. Заридзе и Н. Ф. Татришвили и многих других геологов.

Установлено, что редкометалльные пегматиты возникали в различные геологические эпохи от архея и до третичного времени. Однако в отдельных пегматитовых провинциях и поясах преимущественно развиты пегматиты, возникшие в один тектономагматический этап и реже встречаются разновозрастные пегматиты, например, в Восточном Забайкалье. Крупные поля пегматитов обычно размещаются в зонах, проходящих на стыке геосинклинальных областей с платформами, либо на границе срединных массивов со складчатым обрамлением. При этом редкометалльные пегматиты в отличие от мигматитовых, слюдоносных и отчасти редкоземельных преимущественно контролируются разрывными нарушениями, оперяющими региональные разломы. Редкометалльные пегматиты связаны с конкретными дискордантными гранитными телами. С. С. Щербин (1962) установил, что пространственное распределение редкометалльного оруденения (Та, Ве и др.) в рассматриваемых пегматитах находится в прямой связи с неоднородностью первичного минерального состава пегматитов и условий проявления в них минерального комплекса, замещающего первичные минералы. Слюдоносные пегматиты являются, по представлению некоторых исследователей, синскладчатыми.

А. И. Гинзбург и Г. Г. Родионов (1960) показали, что формирование пегматитов на различных глубинах сказывается на строении и составе пегматитовых тел, на условиях их залегания и степени метаморфизма вмещающих пород. Согласно данным

упомянутых авторов, по глубине формирования выделяются четыре группы пегматитов:

1. Редкоземельные (ортитовые, монацитовые) — формируются на глубинах 8—9 км.

2. Мусковитовые пегматиты представляют собой образования, возникшие на глубине 5—8 км.

3. Редкометалльные (тантало-бериллий-литиевые) пегматиты возникают на глубинах 3,5—5 км.

4. Миароловые — хрусталеносные пегматиты формируются на глубинах порядка 3 км.

Между отмеченными группами пегматитов наблюдаются переходные разности, которые возникли на промежуточных интервалах глубинности.

А. И. Гинзбург и Г. Г. Родионов показали, что пегматиты первой группы глубинности являются преимущественно архейскими, реже протерозойскими. Мусковитовые пегматиты оказываются преимущественно протерозойскими, но среди них известны также каледонские и герцинские. Редкометалльные пегматиты известны всех возрастов, а хрусталеносные — преимущественно молодые.

По-разному проявляется у пегматитов различной глубинности связь с материнскими интрузиями. Глубинные — преимущественно располагаются среди мигматитов вдали от гранитных массивов. Пегматиты средних глубин пространственно тяготеют к гранитным массивам и локализуются в зонах их экзоконтактов. Пегматиты малых глубин располагаются в пределах материнских интрузивов. Строение пегматитов также меняется с глубиной их формирования. Для наиболее глубинных пегматитов характерны простые гранитные структуры, в то время как для средних глубин типичны зональные тела с наиболее полным развитием зон. Появление миароловых пустот характерно для пегматитов, образующихся на малых глубинах, частью средних. Метасоматические процессы усиливаются в направлении к близповерхностным пегматитам, что связано с повышением в них роли летучих и ряда щелочей (натрий, литий, рубидий и цезий). По мнению А. И. Гинзбурга и Г. Г. Родионова, пегматиты всех рассмотренных групп, включая наиболее глубинные образования, возникли из остаточных пегматитовых расплавов, эволюционирующих соответственно с представлениями А. Е. Ферсмана. Такого же мнения придерживаются и большинство других исследователей, упомянутых в начале данной главы.

Однако В. Д. Никитин (1955, 1959) развивает представление, что пегматиты формируются путем перекристаллизации и преобразования в твердом состоянии обычных зернистых магматических и метаморфических горных пород. Эти процессы вызваны поступлением из глубин постмагматических растворов в спокойной тектонической обстановке. Соответственно в форми-

ровании пегматитов важное значение приобретает внутрирудная тектоника. В связи с ее проявлением рудоносные растворы поступают из глубин, из магматического очага. В результате возникает оруденение в пегматитах всех типов. В первичном же материале, слагавшем дайки интрузивных пород, редкометалльных минералов и крупнокристаллических слюд не было. В качестве доказательства того, что пегматиты возникают в результате замещения вмещающих пород, В. Д. Никитин приводит свои наблюдения за условиями нахождения сподумена, который приурочен к системе трещин и возник метасоматическим путем, замещая разнообразные кварцево-полевошпатовые породы. В своих более поздних работах В. Д. Никитин (1965) обосновывает представление об образовании слюдяных пегматитов путем замещения вмещающих пород пространственным расположением слюдоносных зон, тяготеющих к системе трещиноватости, наложенной на тела гигантопегматитов в Мамской провинции. Разнообразие формы слюдоносных зон, согласно его данным, зависит от мощности межпластовых залежей гигантопегматита и от конституции вмещающих их метаморфических горных пород. Точки зрения В. Д. Никитина придерживаются лишь некоторые отечественные исследователи, в частности, С. А. Руденко (1965), который развивает взгляды А. Н. Заварицкого и В. Д. Никитина, исследуя пегматиты, связанные со щелочными массивами. Согласно С. А. Руденко, пегматоидные крупнозернистые щелочные породы возникают путем преобразования исходной мелкозернистой породы. Это подтверждается выявлением среди пегматоидной породы останцев (реликтов) исходной породы, которые оконтурены гранями крупных бластокристаллов, а также некоторыми другими наблюдениями. Преобразование первичных мелкозернистых щелочных пород и превращение их в пегматиты, согласно С. А. Руденко, осуществляется под влиянием постмагматических растворов, поступающих прерывисто из глубинного магматического очага на фоне вспышек трещинообразования. Процесс этот длительный. Вначале возникает пегматоидная порода, затем гнездовый пегматит и наконец жильный пегматит. Дальнейшее развитие процесса приводит к возникновению альбититов, эгиринитов, карбонатитов и существенно биотитовых пород. Редкометалльные минералы накладываются на все эти образования и они возникают как результат поступления поздних порций растворов из глубин.

Большинство исследователей, изучавших пегматиты, придерживаются представлений А. Е. Ферсмана об их образовании из остаточного пегматитового расплава. И. Б. Недоумов (1962), К. Л. Бабаев и др. отмечают заметное механическое воздействие пегматитовой инъекции на вмещающие породы, интенсивность которой находится в прямой зависимости от размеров пегматитов.

Эволюция пегматитового расплава, по А. И. Гинзбургу и другим, протекает в следующей последовательности: $(Ca, Na) \rightarrow (Ca, Na, K) \rightarrow (Ca, K, Li, Na) \rightarrow (K, Li, Na) \rightarrow (Li, Na) \rightarrow (Na)$.

Н. П. Ермаков (1965), изучая газово-жидкие включения в гранитных пегматитах камерного типа, пришел к выводу, что пегматиты кристаллизуются из остаточных расплавов, и подтвердил мнение А. Е. Ферсмана, что пегматитообразование представляет собой «сложную систему с процессами переохлаждения и пересыщения, с вибрацией термодинамических условий, резкими или мягкими скачками давления, температуры и т. д.».

Выяснение условий образования пегматитов в значительной мере зависит от того, насколько однозначно удастся доказать генезис характерных для них графических структур, магматическое происхождение которых было поставлено под сомнение. В связи с этим большой интерес вызывают кристалло-морфологические исследования И. Т. Бакуменко (1966), а также исследования кварцев ихтиоглиптов, проведенные Г. П. Барсановым и Ф. Я. Гурьевой (1964), которые дали возможность заключить, что кварц ихтиоглиптов прошел через точку инверсии и кристаллизовался первоначально как α -кварц. Этим самым доказываются магматическая природа большинства классических письменных агрегатов минералов, образовавшихся путем кристаллизации эвтектики расплава. Это положение подтверждается также выявлением в кварце ихтиоглиптов раскристаллизованных магматических включений, а также установленного И. Т. Бакуменко сходства термолюминесцентных характеристик кварца ихтиоглиптов и заведомо магматического кварца гранитов. Интересно, что некоторые из изученных кварц-полевошпатовых сростаний, внешне напоминающие собственно графические пегматиты, являются сегрегационно-метасоматическими и несомненно связаны с постмагматическими процессами.

Рассматривая имеющиеся представления по условиям образования пегматитов, следует упомянуть и еще одну точку зрения на их генезис.

Ю. М. Соколов и др. (1965), изучавшие керамические и редкометалльные пегматиты Северо-Байкальского нагорья, пришли к выводу, что изученные ими слюдоносные и керамические пегматиты являются метаморфическими образованиями. Из наблюдаемых двух типов пегматитов первый представляет собой непемещенные синкинематические образования. В их составе наблюдаются те же минеральные парагенезисы, что и во вмещающих породах. Второй тип образуют перемещенные позднесинкинематические пегматиты, возникающие в результате выполнения полостей разрывных нарушений материалом, перемещенным из высокотемпературных очагов мигматизации и палинге-

неза. Пегматиты слюдоносной провинции возникали в условиях дистено-альмандиновой субфации амфиболитовой фации метаморфизма и они претерпели перекристаллизацию и гидролиз полевых шпатов с образованием мусковита. Пегматиты керамической провинции возникли в условиях более высокотемпературной силлиманито-альмандиновой субфации метаморфизма и несут слабые следы перекристаллизации и гидролиза полевых шпатов. Редкометалльные пегматиты образованы в результате ультраметаморфизма кварцево-полевошпатовых жил. Проявленный в них метасоматоз и альбитизация контролировались наложенным метаморфизмом зеленосланцевой фации. Источником редких элементов являются вмещающие породы.

Из изложенного вытекает, что в настоящее время большинство исследователей пегматитов в СССР развивают учение А. Е. Ферсмана, по их данным пегматиты представляют собой продукты остаточных магматических расплавов, обогащенных легкими. Небольшая часть геологов развивает идеи А. Н. Заварицкого и относит пегматиты к образованиям, возникшим метасоматически за счет различных жильных пород под воздействием растворов, поднимающихся из магматического очага на фоне трещинообразования. И лишь отдельные исследователи Сибири относят слюдяные и редкометалльные пегматиты к метаморфическим образованиям, не связанным с магматическим очагом.

КАРБОНАТИТЫ

Промышленное значение карбонатитов было впервые установлено Дэвисом в 1940 г., когда в ассоциации с ними были открыты значительные скопления апатитовых пород на холме Букусу и были выявлены значительные концентрации пироклора в карбонатитах Сукуку в Уганде. После этого начались широкие исследования карбонатитовых образований в различных районах Африки, США и Канады.

Значительных успехов в изучении карбонатитовых образований достигли и советские геологи в связи с открытием и изучением карбонатитовых рудных тел в щелочных ультраосновных породах на Кольском полуострове и в особенности в районах, расположенных по краям Сибирской платформы (северо-западная часть платформы, Восточный Саян, Алдан и др). Большой вклад в изучение карбонатитовых месторождений редких элементов внесен Л. С. Бородиным, А. И. Гинзбургом, Ю. Л. Капустиним, Л. К. Пожарицкой, Е. М. Эпштейном, А. А. Фроловым, Ю. М. Шейнманом, Ю. М. Апельциным и др. Карбонатитовые месторождения включают различные эндогенные карбонатные образования, генетически связанные с комплексом ультраосновных — щелочных пород. Среди них Л. С. Бородин и др.

выделяют: 1) комплекс ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов, 2) комплекс щелочных габброидов, нефелиновых сиенитов и карбонатитов, 3) комплекс нефелиновых сиенитов и карбонатитов и 4) комплекс щелочных сиенитов, граносиенитов и карбонатитов. Во всех этих комплексах, кроме последнего, обычно развиты два генетических типа карбонатитов: 1) кальциевые, иногда доломитовые (более ранние) и 2) анкеритовые, либо сидеритовые (более поздние). В ранних карбонатитах концентрируются ниобий, тантал, цирконий и титан. Из редких элементов, развитых в ранних карбонатитах, наибольшее практическое значение в последнее время приобрели ниобий и тантал, входящие обычно в состав пирохлора. Зоны, несущие пирохлоровое оруденение, обычно локализуются вдоль кольцевых либо линейных разрывных нарушений (Фролов, 1960). Поздние карбонатиты обычно сопровождаются гидротермальным изменением пород, выраженным в их амфиболитизации, серпентинизации и хлоритизации. Они представлены метасоматическими телами в ранних карбонатитах либо жилами, секущими различные породы щелочных комплексов и ранние карбонатиты. В поздних карбонатитах получили распространение редкие земли, стронций, барий и различные халькофильные элементы. В практическом отношении главное значение имеют редкие земли, концентрирующиеся в составе бербанкита и других минералов. Закономерности пространственного размещения являются в многом общими для любых генетических типов карбонатитовых комплексов (по Ю. М. Шейнману и др.), они характеризуются следующими чертами.

1. Развитием в пределах наиболее стабильных участков земной коры либо в областях, в значительной мере утративших подвижность задолго до внедрения щелочной магмы.

2. Нахождением провинций ультраосновных — щелочных пород и щелочных габброидов в краевых частях платформ или зонах разломов, возникающих здесь в связи с тектоническими движениями в смежных геосинклинальных областях и участках завершённой складчатости.

3. Появлением карбонатитовых комплексов в складчатых областях на заключительных этапах тектоно-магматических циклов либо в виде посторогенных интрузий, локализующихся в наиболее консолидированных участках (срединных массивах), а также вдоль краевых швов платформ и складчатых поясов.

4. Контролем карбонатитовых комплексов зонами глубинных разломов древнего заложения, рассекающих как платформы, так и складчатые области, неоднократно обновлявшихся в последующие периоды тектонической деятельности.

Итак, в рассматриваемый период наука о рудных месторождениях обогатилась новым важным направлением в области изучения карбонатитов и связанных с ними руд.

КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В последнее десятилетие широко развернулись теоретические исследования в области изучения скарнов и связанных с ними руд, развитых в контактово-метасоматических месторождениях. Основная идея о контактово-реакционной природе скарнов, выдвинутая Д. С. Коржинским в военное время и нашедшая свое научное отражение в течение первых двух послевоенных пятилеток, оказалась весьма плодотворной. Ее дальнейшее значительное развитие произошло в настоящий период в связи с трудами В. А. Жарикова, М. А. Лицарева, А. А. Маракушева, Л. Н. Овчинникова, Л. И. Шабынина, Н. Н. Перцева и др. В развитии теории скарнообразования важное значение приобрела дальнейшая разработка Д. С. Коржинским физико-химических основ анализа парагенезисов и режима кислотности послемагматических растворов, а также экспериментальные исследования Н. И. Хитарова, Е. Б. Лебедева, Р. В. Лебедева и др. исследователей. Ценные данные были получены также в процессе детального изучения геологического строения рудных полей и месторождений вольфрама и молибдена (Пэк, 1962, Н. В. Нечелюстов, Х. М. Абдуллаев, А. Д. Каленов), свинца и цинка (Е. А. Радкевич, В. Ф. Чернышев, В. М. Бабенко, Ф. И. Вольфсон и др.), магнетитовых руд (Н. В. Павлов, Г. А. Соколов, Г. Л. Поспелов, А. С. Калугин, В. В. Богацкий, И. В. Дербилов, П. Н. Кобзарь, Ю. А. Кузнецов, А. М. Дымкин) и других полезных ископаемых. Согласно исследованиям В. А. Жарикова (1959, 1960, 1965), А. А. Маракушева, Л. Н. Овчинникова (1960), Л. И. Шабынина (1961) и др. по составу и механизму образования следует различать скарны: 1) магнезиальные магматической стадии, 2) магнезиальные послемагматической стадии; 3) известковые.

Магнезиальные скарны магматической стадии, по В. А. Жарикову, образуются в результате реакционного взаимодействия доломитов с растворами, выделяющимися из жидкой (и кристаллизующейся) магмы на фронте магматического замещения («гранитизации») доломитов. Эти скарны возникают на различных глубинах остывания магматических расплавов, за исключением субвулканических, при высоких температурах, достигающих температур кристаллизации этих расплавов. Магнезиальные скарны магматической стадии образуются в результате взаимодействия доломитов с кремнеземом, глиноземом и железом, привнесенными растворами из магмы. При магматическом замещении мраморов нефелиновыми сиенитами возникают кальцифиты и скарновые породы с нефелином, железистым пироксеном, апатитом и другими минералами. Магнезиальные скарны магматической стадии практически не несут промышленно ценных руд.

Магнезиальные скарны послемагматической стадии возникают лишь в условиях абиссальной фации глубинности. В их состав входят пироксен, форстерит, флогопит, паргасит, скаполит и не получает развития волластонит. Эти скарны возникают, по В. А. Жарикову, на глубинах от 12—15 до 30 км и более и при температуре 450—600°. Промышленную ценность в этих скарнах имеют флогопит, магнетит и боратовое оруденение. Согласно М. А. Лицареву (1961), Л. И. Шабынину (1961) и др., послемагматические магнезиальные скарны представляют собой биметасоматические диффузионные образования, возникающие на контакте доломитов и различных алюмосиликатных пород. Наряду с этим характеризуемые скарны могут возникать и среди кислых пород (гранитов, гнейсов, пегматитов) в связи с контактово-инфильтрационными процессами при условии предварительного просачивания растворов через доломиты, где они обогащаются Са и Mg с последующим проникновением по разрывным нарушениям в силикатные породы к месту локализации. Известковые скарны возникают в послемагматическую стадию. Работами последних лет полностью подтверждены ранее высказанные Д. С. Коржинским представления о возникновении известковых скарнов в связи с биметасоматическими (существенно диффузионными) процессами, либо контактово-инфильтрационными.

Исследованиями В. А. Жарикова и др. существенно уточнено зональное строение скарнов, находящееся в зависимости от активности вполне подвижных компонентов в растворе. В направлении от карбонатных к алюмосиликатным породам в характеризованных скарнах обычно намечаются следующие зоны: 1) волластонитовый экзоскарн (часто отсутствует), 2) пироксеновый экзоскарн, 3) гранатовый экзоскарн, 4) пироксен-гранатовый эндоскарн, 5) околоскарновая порода.

Детальными исследованиями на ряде месторождений установлено, что в парагенезисе с минералами известковых скарнов и часто близко одновременно со временем их образования возникают магнетитовое, магнетит-халькопиритовое, магнетит-кобальтиновое, шеелит-молибденитовое, борное, частью флогопитовое и другое оруденения. Часто образуются также шеелитовое, сульфидное (особенно галенит-сфалеритовое) золотое и бериллиевое оруденения, наложенные на скарны в связи с более поздними процессами кварц-полевошпатового метасоматоза, пропилитизации либо березитизации, связанными с воздействием более кислых растворов на ранее отложенные скарны.

Детальное изучение геологии месторождений Карамазара и других районов, проведенное В. Ф. Чернышевым (1961) и др., показало, что биметасоматические известковые скарны в значительной степени возникают на контакте карбонатных и силикатных пород в зонах пластического течения.

Исследования последнего времени уточнили сложившиеся ранее представления о глубине формирования известковых скарнов и связанных с ними руд. Исследования, проведенные в Карамазаре А. В. Королевым, Ф. И. Вольфсоном (1951, 1965), И. П. Кушнаревым (1961), В. Ф. Чернышевым и др., показали, что верхняя часть скарновых рудных тел формируется на глубине 1,5—2 км от бывшей поверхности при общей глубине распространения скарнов и связанных с ними руд, не превышающей 4,5—5 км от бывшей поверхности. В. А. Жариков, интерпретируя возможные физико-химические условия образования парагенезисов минералов известковых скарнов, допускает возможность их формирования до глубины 15 км. Однако геологические исследования противоречат такому выводу.

Детальное изучение геологического строения Тырнаузского рудного поля и месторождения, проведенное А. В. Пэком (1962), существенно изменило ранее сложившееся представление о структуре этого своеобразного шеелито-молибденитового месторождения в скарнах и показало важное значение тектонического разлизования мраморов, предшествующего минерализации, на локализацию скарнов и связанных с ними руд.

Н. В. Павлов (1961) провел углубленные исследования магномангнетитовых скарновых месторождений Сибирской платформы, связанных с траппами. Он показал, что упомянутые месторождения имеют гадротермально-метасоматическое происхождение и связаны общностью магматического очага с интрузивными разностями долеритовых пород. В образовании этих месторождений важную роль сыграли галогенные фации, включающие пласты каменной соли, залегающие в нижних горизонтах отложений палеозойского чехла платформы. Перенос больших масс железа происходил в виде хлористых соединений, которые, очевидно, возникали при взаимодействии трапповой магмы с галогенными фациями. Рудоотложение происходило как путем выполнения открытых полостей, так и посредством метасоматоза в зонах разломов и сопряженных с ними зонах трещиноватости, в том числе по слоистости и особенно в вулканических брекчиях и туфах. Состав магномангнетита в различных месторождениях закономерно меняется от магнезиоферрита в близповерхностных месторождениях до магнетита в более глубинных, что вызвано влиянием окислительно-восстановительного потенциала среды.

Вопросы генезиса наиболее типичного Белорецкого скарново-магнетитового месторождения на Алтае изучены В. А. Вахрушевым (1960). Он убедительно показал несостоятельность ранее выдвигавшихся гипотез о метаморфогенно-осадочном происхождении упомянутого месторождения. Наблюдаемая пластовая форма рудных тел и полосчатое строение руд вызваны замещением минералами скарнов и выделившимся позднее магнетитом пачки тонко переслаивающихся пород карбонатного и алю-

мосиликатного состава. Рассматривая вопрос о генетической связи оруденения с массивами изверженных пород, В. А. Вахрушев склоняется к мнению, что источником железа являются не гранитоиды, а породы основного состава, залегающие на глубине и пока не вскрытые эрозией.

Вопросы петрологии и генезиса крупнейших магнетитовых месторождений Тургайской провинции глубоко рассмотрены А. М. Дымкиным (1966). Он показал, что скарны и оруденение на месторождениях Тургая сформировались в послемагматический этап. Минерализация, синхронная с оруденением, развилась в четыре стадии: альбитовую, скаполитовую, скарновую и эпидот-альбит-актинолитовую. Магнетитовая минерализация начинается вместе с выделением скаполита и заканчивается в одних месторождениях вслед за скарнообразованием, а в других — значительно позднее вместе с эпидотом и актинолитом.

Магнетитовые месторождения Тургая размещаются в контактовой зоне интрузивов с осадочно-вулканогенными образованиями нижнего карбона, включающими карбонатные породы, либо находятся в некотором удалении от интрузивов. В совокупности все эти месторождения образуют магнетитовый рудный пояс, прослеженный в субмеридиональном направлении на протяжении около 800 км, при ширине, не превышающей 60 км. Интрузивные породы, с которыми ассоциируют железорудные месторождения, представлены относительно небольшими телами габбро, габбро-диоритов, диоритов и диоритовых порфиритов. Оруденение связано с этими породами общностью магматического очага. В рудных полях Тургая преимущественно развиты скарны инфильтрационного типа, возникшие путем переноса компонентов восходящими растворами. Локализация скарнов и связанных с ними руд определялась зонами дробления пород. Восстановление стратиграфического разреза позволило А. М. Дымкину установить глубину формирования верхней части магнетитовых месторождений от поверхности, существовавшей в процессе минерализации — от 1000 до 2500 м.

Даже из краткого обзора достижений в области изучения скарновых месторождений за рассматриваемый период видно, что учение о геологии контактово-метасоматических месторождений поднято в нашей стране на большую высоту.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ГРЕЙЗЕНАМИ И ДРУГИМИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ

В рассматриваемый период развитие радиоэлектроники, реактивной техники, атомной промышленности, производства специальных сплавов и т. д. резко увеличило потребность в редких и малых металлах, что вызвало необходимость большого

объема поисково-разведочных и научно-исследовательских работ, направленных на выявление промышленных концентраций этих металлов, накапливающихся в грейзенах и других метасоматических образованиях. При этом исследования были направлены на выяснение генетической связи руд всех этих металлов с интрузивными образованиями, а также на изучение геологического строения редкометалльных грейзенов и других метасоматитов, развившихся по алюмосиликатным и карбонатным породам. Как известно, месторождения олова, вольфрама и молибдена, сопровождаемые грейзенизацией вмещающих пород, связаны с гранитоидами.

В складчатых областях месторождения всех редких элементов обычно связаны с гранитоидами. Все рудоносные массивы, как правило, постороженные, постскладчатые. Кроме того, редкометалльные месторождения связаны с субщелочными гранитоидами, щелочными нефелиновыми сиенитами и щелочными ультраосновными породами. Все эти интрузивные образования проявляются в активизированных областях и размещаются вдоль крупных разрывных нарушений.

Проведенные в последнее время исследования показали, что промышленные месторождения редких элементов обычно ассоциируют с наиболее поздними интрузивными образованиями.

А. И. Гинзбург (1967) пришел к выводу, что одним из важнейших факторов, определяющим в значительной степени металлогеническую специализацию магм, а также условия проявления рудного процесса и ведущий промышленный тип месторождений, является содержание и соотношение в исходных материнских породах щелочей — натрия и калия.

Рудоносные породы по содержанию щелочей, согласно А. И. Гинзбургу, располагаются в следующий ряд (по возрастанию содержания натрия и калия, в атомарных количествах): гранитоиды — 180—220, субщелочные гранитоиды — 230—250, щелочные и нефелиновые сиениты миаскитового типа — 320—380, нефелиновые сиениты агпайтового типа — 400—420, Ийолиты-уртиты — 350—600.

Важно отметить, что все постмагматические месторождения редких элементов, связанные с гранитоидами, обычно относятся к высокотемпературным образованиям. В то же время все промышленные гидротермальные месторождения, связанные со щелочными породами, относятся к средне- и низкотемпературным образованиям. Эта особенность находит объяснение в том, что постмагматические растворы, возникающие в связи со щелочными магмами, обогащены щелочами и в течение длительного времени по мере падения температуры сохраняются еще щелочными. Это благоприятствует нахождению в них в растворимом состоянии комплексных соединений редких элементов, которые распадаются при сравнительно низких температурах.

А. И. Гинзбург, кроме того, подчеркивает, что интенсивность метасоматических процессов, развитых в интрузивах и вмещающих породах, находится в прямой зависимости от их щелочности. Наименее интенсивно эти процессы протекают в гранитах, где они развиты только в апикальных частях массивов и с глубиной быстро затухают. В субщелочных гранитоидах эти процессы интенсивно развиваются на значительно большую глубину. Неизменные нефелиновые сиениты вообще неизвестны.

Чем более интенсивно развиты метасоматические процессы в самих материнских породах, тем более изменены и вмещающие породы вокруг массивов и над ними. При этом одни элементы накапливаются преимущественно в измененных интрузивных породах, а другие большей частью концентрируются в измененных вмещающих породах. Развитие метасоматических процессов в материнских интрузивах сопровождается выносом значительного количества элементов во вмещающие породы, что вызывает вертикальную и горизонтальную зональность в распределении редких элементов. Тантал и ниобий чаще всего локализируются в пределах самих метасоматически измененных интрузивов (гранитов и субщелочных гранитоидов), в то время как бериллий в основном концентрируется во вмещающих породах.

В настоящее время пока окончательно еще не решен вопрос об источнике редких элементов: находится ли он в самих интрузивных породах, либо элементы привнесены растворами из больших глубин, или заимствованы при просачивании через вмещающие породы.

Некоторые исследователи приходят к выводу, что редкие элементы мобилизуются из материнских пород, где они находятся в аксессуарных и породообразующих минералах. В этом случае под рудными телами должны находиться породы, обедненные редкими элементами за счет их выщелачивания. А. И. Гинзбург и его сотрудники проводили в ряде районов опробование измененных гранитных массивов на большую глубину и установили постепенное увеличение содержания редких элементов в породах от неизменных разностей с кларковым содержанием до сильно измененных пород, в которых содержания редких элементов повышаются до 10—20 раз без существования зоны выщелачивания. Скорее можно предполагать привнос редких элементов из глубин в зону рудоотложения.

Не имея возможности охарактеризовать в данной работе сложившиеся представления о геологическом строении месторождений всех редких элементов в грейзенах и других метасоматических образованиях, ограничимся рассмотрением наиболее типичного для данных образований бериллиевого оруденения.

Редкометалльные грейзены в алюмосиликатных породах, несущие бериллиевое оруденение, разделяются на следующие типы: 1) в апикальных эндоконтатных частях гранитных массивов,

2) в породах кровли, экзоконтактах интрузий гранитов, 3) в экзо- и эндоконтактах интрузий гранитов — одновременно.

При грейзенизации пород гранитного состава обычно образуются следующие минеральные ассоциации: кварцевая, мусковит-кварцевая, топаз-кварцевая, слюдяная, а при обогащении растворов летучими (F, V, CO₂, S и др.) — турмалин- или флюорит-кварцевая. Такие парагенетические ассоциации минералов Н. И. Наковник (1954) называет минеральными фациями. По направлению от рудных жил они располагаются в строго определенном порядке: кварц-турмалиновая, кварц-топазовая, кварц-флюоритовая и кварц-мусковитовая. Вольфрам-бериллиевые месторождения, по А. А. Беусу, представляют собой четыре фациальные разновидности грейзенов, между которыми имеются постепенные переходы: 1) слюдяно-кварцевая, 2) кварцевая, 3) кварц-топазовая (и топазовая) и 4) кварц-сидерофиллитовая (и сидерофиллитовая).

Литиевые месторождения могут быть разделены на: цинвальдит-топаз-кварцевые, мусковит-кварцевые, кварц-цинвальдитогрейзеновые оторочки (Беус, 1960).

Рубидий-литиевые месторождения во вмещающих породах концентрируются в следующих четырех основных разновидностях грейзенов: 1) кварц-слюдяной, 2) топаз-кварц-слюдяной, 3) слюдяно-топаз-кварцевый и 4) грейзенизированные сланцы (Беус и др., 1962). Максимальная концентрация лития, рубидия, бериллия и фтора характерна для внутренней околожильной зоны грейзенов и наблюдается на расстоянии первых единиц и десятков сантиметров. Количество рассеянного берилла нарастает от слабо грейзенизированных гранитов к заметно грейзенизированному.

Большинство исследователей грейзенов приходят к выводу о послемагматическом их образовании в пневматолито-гидротермальную стадию. Экспериментальные исследования, проведенные в ИМГРЭ, показали, с одной стороны, допустимость представлений об участии фторокомплексных соединений в переносе и концентрации редких элементов в эндогенных процессах, с другой, — позволяют рассматривать геохимию послемагматических процессов, связанных с деятельностью высокотемпературных растворов, в значительной мере как химию комплексных соединений в условиях высоких температур и давлений (Беус, Соболев, 1962).

Месторождения редких элементов, связанные с грейзенизацией карбонатных пород, были выделены в качестве самостоятельного генетического типа лишь в последнее десятилетие. Эти месторождения, относимые некоторыми исследователями к апокарбонатным грейзенам (Говоров, 1960), выявлены на Дальнем Востоке, в Казахстане и других областях и возникли в различные эпохи становления лейкократовых и пегматитовых гранитных интрузий, развившихся в герцинское, мезозойское и третичное

время и характеризующихся повышенным содержанием фтор-содержащих акцессорных минералов (флюорит, апатит, топаз) и интенсивным проявлением следов грейзенизации. В большинстве случаев в этих интрузиях получают распространение кварцевые жилы с бериллом, касситеритом, вольфрамитом, сопровождаемые грейзенизацией.

Характерной особенностью апокарбонатных грейзенов является широкое развитие в их составе флюорита и ассоциирующих с ним минералов бериллия (преимущественно фенакита и хризоберилла). В грейзенах, заместивших магнезиальные осадки, из бериллиевых минералов более часты таффеит и сянхуалит. Грейзены, ассоциирующие со скарнами, обычно обогащены магнетитом и из бериллиевых минералов в их составе выявляется гельвин и бериллийсодержащий везувиан. В некоторых рассматриваемых месторождениях, кроме того, проявлены литиевые слюды, а также минералы олова и вольфрама.

Рудная минерализация в характеризующихся грейзенах представлена пятью фациями: 1) топаз-флюорит-кварцевой, изученной Ив. Ф. Григорьевым и Е. И. Доломановой (1955) и несущей касситеритовое оруденение; 2) альбит-флюорит-мусковитовой фацией, несущей берилл и некоторые другие минералы бериллия и изученной Д. В. Рундквистом и Н. Е. Чистяковым (1960); 3) топаз-слюдисто-флюоритовой фацией, изученной И. Н. Говоровым, М. Г. Руб и др., характеризующейся развитием фенакита и хризоберилла; 4) микроклин-турмалин-флюоритовой фацией, генетически связанной с топаз-слюдисто-флюоритовой фацией и из рудных минералов, несущих в своем составе касситерит и фенакит; 5) магнетит-везувиан-флюоритовой фацией, в составе которой, согласно Д. Ф. Коржинскому, из бериллиевых минералов развиты гельвин, даналит и хризоберилл, реже фенакит и берилл.

Кроме упомянутых, преимущественно бериллиевых месторождений, связанных с апокарбонатными грейзенами, выявлены также кварцевые жилы, в которых одним из основных полезных компонентов является берилл. Наиболее часто они появляются в рудах, обогащенных вольфрамитом. В подобных месторождениях берилловая минерализация наблюдается в зонах грейзенов, сопровождающих кварцевые жилы, но, по А. А. Беусу (1960), наиболее крупные скопления берилла концентрируются в кварцевом выполнении. Известны также кварц-берилловые месторождения, не сопровождаемые грейзенизацией вмещающих пород, представители которых, выявленные в Восточной Сибири, описаны А. А. Беусом (1960). В Казахстане, по данным А. А. Беуса, известны кварц-касситеритовые месторождения, несущие гельвин-даналитовую минерализацию. Они характеризуются наличием повышенных концентраций железа, цинка, марганца, серы и приближаются к касситерит-сульфидным месторождениям.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В рассматриваемый период наибольший объем геологоразведочных и научно-исследовательских работ проведен на гидротермальных месторождениях, концентрирующих подавляющее количество руд многих металлов и многих видов неметаллического сырья. Эти работы позволили значительно углубить различные аспекты теории образования гидротермальных месторождений. Большое внимание было уделено выяснению генетической связи оруденения с различными продуктами магматизма и магматическими очагами. Крупные специальные минералогические исследования направлены на выяснение условий нахождения редких и рассеянных элементов в рудах и минералах, на изучение рудных формаций. Много работ было выполнено по определению геохимических условий формирования руд и моделирования природных процессов, по изучению зональности оруденения в отдельных месторождениях, рудных полях и в рудоносных провинциях. Особое внимание уделялось гидротермально измененным вмещающим породам.

Многие геологи и целые научные коллективы посвятили свои исследования решению таких сложных вопросов, как условия отделения рудоносных флюидов от источника оруденения, способ переноса и отложения рудного вещества, глубина формирования оруденения, источник руд. Наряду с решением общих вопросов много труда вложено советскими геологами в изучение геологии отдельных металлов и уточнению и разработке как общих поисковых критериев, так особенно и критериев для поисков скрытых рудных тел. Это вызвало наибольшее внимание уделить разработке структурных поисковых критериев и изучению первичных ореолов рассеяния вокруг рудных тел и вторичных ореолов на рудоносных площадях.

Связь гидротермального оруденения с магматизмом

Переходя к рассмотрению вопроса о связи гидротермального оруденения с магматизмом, нельзя прежде всего не остановиться на данных изучения постмагматических процессов в районах современного вулканизма. Углубленные исследования С. И. Набоко (1963) камчатских вулканов убедительно показали, что наблюдаемые в современных застывших лавах метасоматические образования определяются разгрузкой глубинных гидротермальных систем, а не поверхностным магмопроявлением. Гидротермальные растворы и активный вулканизм связаны с единым магматическим очагом, порождающим после излияния лав восходящий поток эндогенных эманаций.

Г. Д. Афанасьев, Ю. А. Кузнецов, Е. К. Устиев и другие провели в последнее время исследования, которые показали един-

ство магматических очагов, порождающих интрузивные и эффузивные образования. Е. К. Устиев выдвинул гипотезу вулканоплутонических массивов, широко поддерживаемую многими геологами и петрографами.

Широкое развитие разнообразного эндогенного оруденения, прежде всего медно-колчеданного, золото-серебряного, оловянного и уранового среди эффузивных толщ, а также частое нахождение эндогенных месторождений среди пород жерловых фаций и экструзивных образований привело к необходимости рассмотреть возможную взаимосвязь оруденения с самим процессом формирования эффузивных толщ. По этому вопросу много работ опубликовал В. Н. Котляр (1962, 1963, 1965), который попытался охарактеризовать критерии отличия между эндогенными месторождениями, генетически связанными с эффузивным магматизмом и интрузивным. По мнению В. Н. Котляра, следует различать следующие формы связи оруденения с магматическими образованиями: 1) пространственная связь оруденения с эффузивно-интрузивными комплексами, 2) связь оруденения с глубинными интрузивными комплексами и интрузивами, 3) связь оруденения с экструзивами и экструзивными и субвулканическими комплексами, 4) связь оруденения с эффузивами и пирокластическими породами (генетическая и локальная), 5) связь оруденения с вулканогенно-осадочными комплексами (локальная и парагенетическая).

М. А. Фаворская (1965), развивая представление о связи оруденения с интрузивными образованиями, допускает возможность их связи с магматическими очагами, порождающими эффузивы. Большинство гидротермальных месторождений, залегающих в эффузивных породах, согласно М. А. Фаворской, находятся в парагенетической связи с последними. В то же время, по ее мнению, месторождения олова, принадлежащие к риолитовой и частично кварцево-касситеритовой формации, находятся в непосредственной генетической связи с вулканическими жерлами и субвулканическими телами. В этом случае по отношению к последним является отчетливая горизонтальная зональность в размещении оруденения. В рудах наблюдаются явления телескопирования и быстрая смена фаций на глубину.

Вопросу о формировании медноколчеданных месторождений в процессе накопления эффузивных толщ много внимания уделил В. И. Смирнов (1963, 1965), основные положения которого были поддержаны С. Н. Ивановым, Г. А. Твалчрелидзе, Н. С. Скрипченко (1966), В. С. Домаревым (1966) и некоторыми другими исследователями.

Все упомянутые авторы пришли к выводу, что среди медноколчеданных месторождений следует различать две группы. К первой из них относятся месторождения, возникающие в процессе накопления эффузивно-осадочных толщ, которые авторы

вслед за Г. Шнейдерхеном и Офтедалем относят к эксгальцион-но-осадочным или субмаринным. Примерами таких месторождений, согласно В. И. Смирнову, Н. С. Скрипченко, С. Н. Иванову и другим, являются северокавказские медноколчеданные месторождения, а также некоторые месторождения Урала и других районов.

Ко второй группе относятся месторождения с тем же минеральным составом руд, но являющиеся гидротермальными образованиями, и генетически связанные с субвулканическими интрузиями. К сожалению, все упомянутые авторы не предложили достаточно обоснованных критериев отличия месторождений первой группы от месторождений второй гидротермальной группы. В то же время высказанное представление о необходимости отнесения ряда промышленных медноколчеданных месторождений к типу эксгальционно-осадочных не нашло поддержки среди многих советских геологов и в геологической литературе достаточно длительное время идет диспут по условиям образования медноколчеданных месторождений. В частности, Ф. И. Вольфсон (1962, 1967), Г. М. Заридзе (1965), И. С. Вахромеев и А. С. Бобохов (1966), М. А. Свирский (1966), В. Д. Баранов и А. А. Гармаш (1967) и др., не отрицая сам факт возможности образования эксгальционно-осадочных месторождений, не поддерживают представление о целесообразности выделения в виде самостоятельного промышленного типа эксгальционно-осадочные колчеданные месторождения.

Прошедший диспут по условиям образования колчеданных месторождений привлек внимание к этому вопросу многих геологов, что способствовало углубленному и всестороннему изучению этой важной группы эндогенных рудных месторождений.

Не менее сложным оказалось решение проблемы генетической связи гидротермальных месторождений с интрузивным магматизмом. Наблюдения многих геологов подтвердили представления, высказанные ранее С. С. Смирновым, об отсутствии генетической связи оруденения с батолитами. Как известно, С. С. Смирнов рассматривал этот вопрос и подчеркивал, что во многих случаях удается наблюдать примеры пересечения гранитных массивов дорудными дайками асхистовых и диасхистовых пород, сопровождаемых зонами закалки. Следовательно, гранитоиды к моменту внедрения даек уже являлись полностью затвердевшими породами. Средне- и низкотемпературное гидротермальное оруденение существенно оторвано во времени от периода внедрения даек и, как, было показано многими исследователями, образуется даже при ином плане деформации.

Лишь с некоторыми штоками гранитоидов, преимущественно внедрившимися в посторогенное время, пространственно и генетически связаны высокотемпературные месторождения ниобия, тантала, олова, вольфрама и других металлов, сопровождающие-

ся альбитизацией или грейзенизацией вмещающих пород, а также некоторые высокотемпературные месторождения, связанные со скарнами. Исследования А. И. Гинзбурга, Е. И. Семенова и других геологов показали, что в генетической связи с массивами ультраосновных — щелочных, либо щелочных пород находятся высокотемпературные постмагматические месторождения.

В вопросе о связи гидротермального оруденения с массивами изверженных пород мнения геологов несколько разошлись. Например, Х. М. Абдуллаев (1954) считает, что не столько «магическая сила особых глубинных очагов и глубинных региональных разломов, сколько сама конкретная интрузия в процессе ее внедрения и затвердевания и вся геологическая среда в целом, обуславливают появление определенных типов постмагматических месторождений». На примере изучения оловорудных месторождений Средней Азии эту идею развил Х. Н. Баймухамедов.

В. С. Коптев-Дворников и ряд других петрографов считают, что часть высокотемпературных эндогенных месторождений формируется после даек первого этапа, но до даек регионального распространения второго этапа. М. Б. Бородаевская и Ф. К. Шипулин отметили важную роль малых интрузий в формировании гидротермального оруденения, которое находится с ними в парагенетической связи.

Большая часть геологов, изучавших гидротермальные месторождения различных металлов, а также многие петрографы (Г. Д. Афанасьев, Мир-али-Кашкай, И. Е. Сморчков, Г. М. Заридзе, А. М. Даминова, М. Г. Руб, В. А. Калужный, С. Д. Туровский, И. Х. Хамрабаев, Р. Б. Баратов и др.) развивают представление, впервые высказанное С. С. Смирновым, и генетически связывают эндогенное оруденение с глубинными магматическими очагами.

Эта идея находит подтверждение и в результатах новейших экспериментальных исследований Н. И. Хитарова и др. (1967₁). Полученные этими авторами данные позволили им провести ряд интересных расчетов, позволяющих представить возможную концентрацию Мо в магматическом расплаве и высказать соображение о связи оруденения этого металла с магматизмом. Говоря о вероятных пределах концентрации Мо в отделяющейся газовой фазе, они приходят к следующим выводам. Минимальные концентрации Мо в газовой фазе составляют $1,5 \cdot 10^{-5} — 3,7 \cdot 10^{-5}$ г/кг. Максимальные рассчитанные пределы концентраций равны $1,2 \cdot 10^{-3} — 3,0 \cdot 10^{-3}$ г/кг (пределы концентрации в газовой фазе обогащенного хлором, специализированного на Мо расплава при 1200°). Авторы подчеркивают уменьшение концентрации Мо в газовой фазе с понижением температуры ее отделения. Очевидно, при прерывистой («пульсационном») удалении газовой фазы из магматической камеры, которое может происходить попутно с понижением температуры, концентрация Мо в отдельных порциях флюида будет уменьшаться от ранних порций к поздним.

Разница в концентрациях двух последовательных порций должна быть при этом тем значительней, чем большее понижение температуры расплава произошло за промежуток времени, разделяющий моменты отделения этих порций. Н. И. Хитаров и другие считают, что концентрация Мо в расплаве не могла существенно измениться за счет выноса из него Мо в процессе удаления газовой фазы, так как выносятся лишь около 1% всего Мо. По-видимому, можно считать, что концентрация Мо в свежих неизмененных гранитоидах должна довольно близко отражать начальные концентрации Мо в их исходных расплавах. Эти данные позволяют высказать соображение о форме связи Мо с интрузиями. Для очень крупных молибденовых месторождений наиболее вероятной формой связи с интрузиями является парагенетическая (в смысле общности магматического очага для интрузий и рудоносных растворов). Допущение о прямом генетическом характере связи требует наличия в районе месторождения слишком больших по объему массивов интрузивных пород, которые можно было считать источником Мо для формирования месторождения.

Основная масса сульфидных кварцево-золоторудных, кварцево-касситеритовых и других гидротермальных месторождений значительно оторвана от времени становления батолитов. Часть этих месторождений существенно оторвана от времени и от посторогенных. Более высокотемпературные из этих месторождений близки по времени с малыми интрузиями. В этом отношении особый интерес представляют результаты исследований абсолютного возраста горных пород и руд, полученные А. И. Тугариновым (1963) и его сотрудниками в Рудных горах (ГДР), а также сотрудниками ИГЕМ АН СССР и других организаций в Карамазаре и Восточном Забайкалье. А. И. Тугаринов показал, что время формирования минеральных образований молодых стадий Рудных гор происходило позднее становления Эйбенштоцкого гранитного массива почти на 140 млн. лет.

Продолжительные геологические исследования, проведенные в Карамазаре Н. П. Васильковским, И. П. Кушнаревым, Л. И. Лукиным, И. Е. Сморгочевым, Н. П. Лаверовым, В. Н. Левиным, Ф. И. Вольфсоном и другими геологами, дали возможность воссоздать историю тектонических движений, проявления магматизма и рудообразования в этом интереснейшем рудном районе. Все эндогенные рудные месторождения Карамазара (грейзены с признаками вольфрамового оруденения; магнетитовые, вольфрамовые, свинцово-цинковые, связанные со скарнами; жильные мышьяковые, медно-висмутовые, золоторудные, свинцово-цинковые, свинцово-серебряные, баритовые и флюоритовые) сформировались после всех интрузивных образований и в том числе самых молодых даек диабазовых порфиритов регионального распространения. До этих даек возникли лишь кварцево-пиритовые и кварцево-турмалиновые жилы, не несущие промышленного

оруденения, а также алунитовые вторичные кварциты¹. Определения абсолютного возраста более 150 образцов различных изверженных пород калий-аргоновым методом, выполненные Л. Л. Шаниным и И. Б. Ивановым (Лаверов, Беликов, Иванов, 1964), показали, что возраст Карамазарского батолита гранодиоритов составляет 320 млн. лет. Возраст более поздних интрузивных и близких к ним по времени формирования эффузивных образований составляет около 290 млн. лет. Возраст наиболее поздних малых интрузий гранитоидов и даек диабазовых порфиров регионального распространения равен приблизительно 270 млн. лет. Возраст наиболее поздних минеральных рудных образований, определенный свинцовым методом, составляет около 230 млн. лет. Таким образом, весь процесс рудообразования в Карамазаре длился порядка 40 млн. лет, и низкотемпературные минеральные стадии оказались существенно оторванными во времени даже от самых поздних интрузивных образований.

Близкие результаты были получены и в Восточном Забайкалье. Более ранними исследованиями С. С. Смирнова, В. М. Крейтера, Ю. А. Билибина, а затем Г. Л. Падалки, Е. А. Радкевич, К. Ф. Кузнецова, Г. И. Князева, П. А. Строна, А. В. Дружинина, И. Н. Томсона, Р. М. Константинова, Г. А. Шаткова, Н. В. Шталь, М. А. Свирского, Л. П. Ищуковой, Ф. И. Вольфсона и других геологов² было установлено, что все оруденение этой провинции — молибденовое, вольфрамовое, оловянное, золоторудное, свинцово-цинковое, низкотемпературное золоторудное и флюоритовое — возникло в послевеерхнеюрское время. В Забайкалье проведены детальные геологические наблюдения, которые показывают, что тела всех упомянутых рудных проявлений секут верхнеюрские образования, представленные эффузивами и их туфами, среднего и кислого состава.

Определение абсолютного возраста калий-аргоновым методом изверженных пород и калийсодержащих минералов из рудных жил, произведенное Л. Л. Шаниным, И. Б. Ивановым по образцам И. Н. Томсона, П. В. Комарова и др., показало, что раннемезозойские интрузивные образования Восточного Забайкалья имеют абсолютный возраст около 180 млн. лет. Наиболее поздние субвулканические интрузивы, пересекающие верхнеюрские кислые эффузивы, имеют возраст около 140 млн. лет. Такой же возраст имеют грейзены площадного распространения. Оловянные и вольфрамовые рудные жилы по анализу некоторых калиевых слюд имеют абсолютный возраст около 130—135 млн. лет,

¹ В. М. Турлычкин выделил в последнее время в Карамазаре кварц-золоторудные жилы, возникшие до даек диабазов.

² В. Н. Козаренко, В. С. Кормилицын, Д. И. Горжевский, Н. А. Фогельман, Н. В. Петровская и др. приходят к выводу, что в Восточном Забайкалье, кроме послевеерхнеюрских, имеются также и среднеюрские гидротермальные месторождения золота и других металлов.

свинцово-цинковые рудные жилы в гранитоидах по определению абсолютного возраста адуляров имеют возраст порядка 125 млн. лет, флюоритовые рудные тела, в которых анализу также подвергнуты адуляры, по данным указанных авторов и Ю. П. Дорошенко, составляют 110—115 млн. лет. Таким образом, и в Восточном Забайкалье процесс рудообразования оторван во времени от наиболее поздних интрузивов на 10—30 млн. лет и протекал в течение большей части нижнего мела и продолжался, по-видимому, более 20 млн. лет. Данные определения абсолютного возраста сульфидных руд в других районах (Урал, Алтай, Кавказ), где анализировались серициты околорудно измененных пород, не дали отчетливых результатов, что, по-видимому, связано с недостаточной разработанностью определения абсолютного возраста серицита калий-аргоновым методом (Овчинников, Буслаев, 1967). Тем не менее полученные новые данные по определению абсолютного возраста пород и руд в упомянутых трех рудоносных провинциях позволяют глубже понять саму эволюцию магматического очага и проследить ход развития постмагматических процессов.

В этом отношении важное значение имеют новые данные по содержанию металлов в многофазных интрузивных массивах гранитоидов в рудоносных районах. Многочисленные анализы образцов гранитоидов показывают, что в полиметаллических рудоносных провинциях последовательно внедряющиеся интрузивные массивы все более и более обогащаются такими элементами, как Mo, U, Pb и др.

Согласно И. Е. Сморгичеву и др. (1963), в Чаткало-Кураминской рудоносной провинции содержание урана в гранитоидах, слагающих Кураминский батолит, составляет менее одного кларка, а в наиболее поздних субщелочных малых интрузиях, сформировавшихся примерно через 60 млн. лет, это содержание возрастает до шести кларков. Такая же закономерность устанавливается и по отношению к содержанию Mo и других элементов в рассматриваемой и в других рудоносных провинциях. Эти данные позволяют заключить, что каждая интрузивная фаза в сущности характеризует среднее содержание металлов в магматическом очаге в момент отделения от него данного магматического расплава. По мере остывания магматического очага, приводящего к его удалению от земной поверхности, и повышения концентрации в нем летучих компонентов содержание металлов в остаточных расплавах все более и более увеличивается. Отделение от очага рудной фракции происходит уже после внедрения всех магматических образований и растягивается на многие миллионы лет. Поскольку магматический очаг представляет собой огромные массы магматических расплавов, его постепенное остывание, очевидно, приводит к резкому уменьшению объема (по-видимому, не менее чем на 15—20%), что не может не вызвать

существенные тектонические деформации, которые, вероятно, обуславливают возобновление движений по ранее заложенным крупным разломам. Происходят разнонаправленные тектонические перемещения и возникают тектонические блоки с различной историей геологического развития. В дальнейшем, в зависимости от условий проявления разрывных нарушений в каждом блоке, их относительной жесткости, а также от времени отделения различных порций рудоносных растворов и способности комплексных соединений различных металлов находиться в растворенном состоянии (нестойкости комплексных соединений), в каждом из тектонических блоков обычно формируется какое-либо определенное оруденение. Это проявляется в виде региональной зональности, условия возникновения которой будут более подробно рассмотрены ниже.

Минералого-геохимические исследования руд

В рассматриваемый период большое развитие получили минераграфические исследования благодаря работам А. Г. Бетехтина, И. С. Волинского, С. И. Талдыкина, Ф. Н. Шахова, С. А. Вахромеева, С. А. Юшко, Т. Н. Шадлун, А. А. Филимоновой, А. Д. Генкина, А. И. Тишкина, И. В. Мельникова, Г. А. Тананаевой, В. В. Архангельской, П. Я. Ярош и др. Большой объем исследований проводится не только в геологических институтах Академии наук СССР, республиканских академиях, институтах Министерства геологии СССР, но также на кафедрах полезных ископаемых геологоразведочных вузов и в многочисленных производственных лабораториях тематических партий и экспедиций. Широкому проведению минералогических исследований в значительной мере способствовали изданные в нашей стране руководства по кристаллооптике и минераграфии, а также выпускаемые нашими заводами прекрасные микроскопы и другое оптическое оборудование.

В процессе характеризуемых исследований не только диагностируются минералы и намечаются их парагенетические ассоциации, но также производится выяснение закономерностей, наблюдаемых в химическом составе парагенетически связанных минералов, установление последовательности образования минеральных ассоциаций в пространстве и времени и выявление физико-химических условий возникновения различных по составу парагенетических групп минералов. В этом отношении большое значение имели работы А. Г. Бетехтина, направленные на решение проблемы парагенетических соотношений минералов в рудах. А. Г. Бетехтин в сущности возглавил новое научное направление, основывающееся на физико-химических принципах.

Ученый не ограничился детальным изучением формы и возрастных взаимоотношений минералов и минеральных агрегатов для

выяснения различных типов структур руд, а там, где это было возможно, попытался путем построения серии физико-химических диаграмм объяснить генезис большого количества наблюдаемых структур в различных типах руд. Ранее уже нами отмечалось, что А. Г. Бетехтин рассмотрел важный вопрос о влиянии режима кислорода и серы на процессы рудообразования и на парагенетические соотношения минералов в рудах. Он показал, что смена парагенетических ассоциаций, наблюдаемая в гидротермальных месторождениях, находится в прямой связи с геологическими и физико-химическими условиями, сложно изменяющимися на путях движения рудоносных растворов.

А. Г. Бетехтин и его ученики начали широко применять анализ парагенезисов минералов с помощью геометрических методов изображения. С помощью диаграмм состав — парагенезис минералов рассматривались парагенетические ассоциации, охватывающие природные соединения железа, меди и частью никеля. Анализируя, в частности, парагенетические соотношения минералов в системе Cu—Fe—S , А. Г. Бетехтин показал, что главные медьсодержащие сульфиды (кубанит, халькопирит, борнит и халькозин) встречаются в парагенезисе с пиритом и с пирротинном. Лишь ковеллин, как наиболее богатый серой сульфид меди, может образоваться в эндогенных рудах в ассоциации с пиритом. Относительно бедные серой сульфиды меди и железа, возникающие в условиях низкой концентрации серы в растворах, при повышенных температурах способны образовывать твердые растворы, которые при понижении температуры распадаются. Наблюдаемые парагенезисы минералов, такие как пирит + борнит; пирит + халькозин; пирит + ковеллин, могут формироваться лишь в условиях относительно высокой концентрации серы в растворах. При некоторых промежуточных концентрациях серы в растворах образуются борнит, халькопирит и кубанит, при ее высоких концентрациях — ковеллин и пирит, а при очень низких — халькозин и пирротин.

Пользуясь методикой, предложенной А. Г. Бетехтиным, по анализу с помощью специальных диаграмм состав — парагенезис минералов Г. А. Крутов рассмотрел парагенетические ассоциации, охватывающие соединения никеля, кобальта и железа, среди которых он выделил три группы минералов: железо-кобальтовые и кобальтовые, кобальт-никелевые и никелевые, а также никелевые и железо-никелевые минералы.

Большой интерес представляют исследования по изучению структур распада твердых растворов в рудах с последующим экспериментальным воспроизведением подобных структур, которые проводятся в лабораториях ИГЕМ АН СССР и других институтов.

Так, А. А. Филимонова еще в послевоенное время наблюдала в рудах Кабанского месторождения сростки борнита с халько-

пиритом с различными количественными соотношениями этих минералов. Среди борнит-халькопиритовых выделений, которые характеризуются весьма малыми размерами, наиболее распространены решетчатые и в меньшей степени петельчатые или переходные разности структур распада твердых растворов. Такие структуры несомненно сформировались в особых условиях, так как в рудах этого же месторождения встречаются зоны чистого халькопирита и борнита в пирите. А. А. Филимонова предположила, что вначале образовывались руды, содержащие зерна борнита и халькопирита. Затем вследствие повышения температуры в тех же участках, где борнит и халькопирит находились в контакте один с другим, происходила диффузия компонентов с образованием твердых растворов. При последующем понижении температуры твердые растворы распадались. При этом на месте халькопирита появились структуры распада борнит-халькопирита, в которых преобладает халькопирит, и на участках, прежде занятых борнитом, в структурах распада преобладает борнит.

Свое предположение А. А. Филимонова подтвердила специально проведенными экспериментами (1959). Она получила структуру распада твердых растворов путем предварительного нагревания пирит-борнитовых руд в течение 15 минут при температуре 360° и последующей закалки испытываемого образца в воде. Оказалось, что участки срастания борнита и халькопирита при преобладании халькопирита примыкают к зернам пирита, образуя реакционные каймы, а при преобладании борнита участки срастания приурочены к выделениям чистого борнита. Нагревание минеральных агрегатов, уже содержащих структуры распада твердых растворов, привело к перегруппировке продуктов распада, выразившейся в увеличении размеров включений и соответственно в уменьшении их числа.

Проведенные исследования показали, что структуры распада твердых растворов борнит-халькопиритовых руд могут быть использованы в качестве критериев для выявления признаков метаморфизма руд. Одним из основных признаков метаморфизма руд является наличие переходов между срастаниями, обладающими типичными признаками структур распада твердого раствора со структурами замещения в тех же самых минералах.

Важным критерием для определения признаков метаморфизма является наличие структур распада твердого раствора в виде реакционных кайм по границам других минералов, способных вступать в реакцию. Реакционные каймы свидетельствуют о неполноте диффузии компонентов, слагающих соприкасающиеся минералы, при относительно кратковременном нагревании руд. Используя отмеченные и другие признаки метаморфизма руд, можно выяснить историю формирования месторождений и во многих случаях глубже подойти к выяснению их генезиса.

Большие успехи в минералогических исследованиях были достигнуты в самых разнообразных направлениях, и в небольшой работе трудно охватить главнейшие из них.

Тем не менее следует упомянуть минералогические исследования, направленные на изучение минерального состава гидротермальных урановых месторождений и их геохимических особенностей, проведенных коллективом исследователей в АН СССР под руководством А. П. Виноградова, Д. И. Щербакова и А. А. Саукова, а также большим коллективом внеакадемических геологов и прежде всего В. Г. Мелковым, Я. Д. Готманом, М. Ф. Стрелкиным, М. В. Соболевой, И. А. Пудовкиной, Е. М. Копченовой, К. В. Скворцовой, А. О. Розенцвитом, Ю. М. Дымковым и др. Эти работы позволили существенно углубить наши представления по составу и модификациям первичных урановых минералов и парагенетически связанных с ними разнообразных других минералов. Советские геологи установили важное промышленное значение настуран-сульфидных месторождений и прежде всего настуран-нордизитовых.

При изучении редких и рассеянных элементов, входящих в состав минералов сульфидных и других руд, интересные результаты получены В. В. Ивановым (1964), Н. В. Лизуновым, К. Ф. Кузнецовым (1959, 1967), Г. М. Мейтувом и Н. А. Читаевой. Упомянутые авторы рассмотрели поведение редких элементов в одних и тех же минералах, сформировавшихся в различных стадиях минерализации, и показали изменение степени их концентрации в зависимости от геологических, физико-химических и геохимических условий рудообразования. В частности, на примере свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья показано, что наиболее высокотемпературные их представители, верхние части которых возникли на относительно большой глубине (более 1500 м) в зонах смятия среди образований геосинклинального этажа, залегающие преимущественно среди силикатных пород, характеризуются накоплением в сульфидах висмута, кадмия и селена при одновременном широком рассеянии во вмещающих породах таллия и галлия.

В то же время средне-низкотемпературные месторождения, сформированные в близповерхностных условиях в карбонатных породах, характеризуются накоплением в сульфидах таллия, галлия, индия и серебра (частично теллура) при резкой обедненности селеном, висмутом и частичным рассеянием кадмия. Резко телескопированные высоко-низкотемпературные месторождения, залегающие в осадочных силикатных породах нижнего яруса верхнего структурного этажа, характеризуются накоплением в сульфидах висмута, селена, теллура, кадмия, серебра и индия, но обеднены таллием и галлием.

Для типичных близповерхностных месторождений, залегающих среди эффузивных образований верхнего яруса верхнего

этажа, характерно повышенное содержание в сульфидах висмута, теллура, нахождение золота, но широкое рассеяние кадмия, индия, галлия, таллия и селена. Изложенное показывает, что концентрация и рассеяние редких элементов в рудах месторождений находится в прямой зависимости от геологической обстановки формирования этих месторождений.

Появление же идентичных примесей редких элементов в рудах месторождений различных районов, например Приаргунья, подтверждает одновозрастность всех этих месторождений. Рассматривая поведение отдельных элементов, развитых в сульфидах, следует отметить, что для Забайкалья, например, характерно приблизительно одинаковое содержание кадмия во всех разновидностях сфалеритов, но в других районах такая закономерность не улавливается. В частности, в Карамазаре, по данным С. Т. Бадалова и М. Р. Еникеева, наблюдается заметное увеличение кадмия в сфалеритах более поздних низкотемпературных стадий. То же подмечено Г. И. Бочаровой для сфалеритов Эльбрусского месторождения на Северном Кавказе, где в поздних клейофанах количество кадмия примерно удваивается по отношению к ранним темно-бурым сфалеритам.

Не останавливаясь на обзоре ряда других работ по изучению редких и рассеянных элементов в сульфидных и других рудах, укажем, что эти работы в какой-то мере вызвали более детальное и всестороннее изучение отдельных сульфидных и других минералов. В этом отношении заслуживают особого внимания исследования отдельных минералов с помощью электродиализа, выполненные Е. В. Рожковой, а также работы Б. И. Вейц и И. В. Покровской, детально изучивших каждый из многочисленных минералов, развитых в рудах полиметаллических месторождений Алтая.

Большое значение также имеют исследования М. С. Сахаровой минерального состава руд Дарасунского золото-сульфидного месторождения, которые позволили проследить поведение золота в процессе рудообразования и показать условия его накопления в различных парагенетических ассоциациях минералов. Должны быть отмечены исследования по минералогии золоторудных месторождений, проведенные Н. В. Петровской (1955^{1,2}) на Енисейском кряже, Центральном Алдане и в Восточном Забайкалье. Она показала, что золото, выделившееся в одну из поздних стадий минерализации, часто локализуется в раннем кварце, обладающем полосчатой или брекчиевой структурой. Позднее золото концентрируется также в участках жил, характеризующихся максимальным количеством ассоциаций минералов, проявленных в этих жилах, особенно на участках развития относительно более хрупких сульфидов и реликтов гидротермально измененных вмещающих пород.

Большой интерес представляют работы А. С. Марфунина и

В. И. Красникова по изучению физических свойств сульфидов, позволяющие проследить изменение свойств отдельных сульфидных минералов в зависимости от их нахождения в различных геологических условиях. Выяснению физических свойств сфалерита посвящены интересные работы А. А. Ясинской, П. Н. Мозговой, Г. И. Бочаровой и Н. А. Читаевой.

Крупные достижения в области минералогических исследований потребовали пересмотра ряда установившихся ранее понятий, к которым прежде всего относится понятие «парагенезис минералов». А. Г. Бетехтин отмечал, что «под понятием парагенезис следует понимать не просто ассоциацию всех совместно наблюдаемых минералов, а лишь группу минералов, совместно образованных на той или иной стадии развития процесса минералообразования». Т. Н. Шадлун подчеркнула, что представление о парагенезисах минералов как о вещественном отображении стадий процесса было принципиально новым. В своих последующих работах А. Г. Бетехтин определяет минеральные парагенезисы как «равновесные ассоциации» минералов.

Развивая представления А. Г. Бетехтина, Н. В. Петровская (1967) предложила следующее определение данному понятию: «парагенетическая минеральная ассоциация — это закономерное сообщество минералов, образованных совместно как равновесная минеральная система в пределах термодинамических условий, допускающих возникновение такой системы и в ограниченный отрезок времени, соответствующий одной ступени минерального равновесия». Термодинамические условия удается определить путем выявления и анализа особенностей парагенетических ассоциаций на базе использования минералогического правила фаз, ограничивающего число одновременно образующихся устойчивых минералов (Коржинский, 1957₁). Показателями равновесных взаимоотношений минералов служат, по Н. В. Петровской, структуры их сростания, лишенные признаков скольконибудь интенсивной коррозии и замещения одного минерала другим.

В последнее время широко развернулось обсуждение вопросов, связанных с изучением эндогенных рудных формаций. В этом отношении наиболее интересными являются данные В. А. Кузнецова (1966), Ф. Н. Шахова (1962), Н. В. Петровской (1967), И. Г. Магакьяна (1967), Р. М. Константинова (1966), Е. А. Радкевич (1966) и других исследователей.

В. А. Кузнецов отождествляет понятие рудной формации с понятием — группа однотипных месторождений и прежде всего, месторождений отдельных металлов.

Ф. Н. Шахов, выделяя рудные формации, придает большое значение типам окolorудного изменения пород. В связи с этим он предложил называть рудные формации метасоматических месторождений в соответствии с составом этих пород.

Н. В. Петровская предлагает учитывать при изучении минеральных жил: 1) периоды формирования минеральных сообществ, включающих ступень развития процесса, стадию процесса и этап процесса; 2) сами минеральные сообщества, представленные парагенетической минеральной ассоциацией, одностадийным комплексом минеральных ассоциаций и одноэтапной группой минеральных ассоциаций; 3) условия формирования минералов и отложение их из этих же растворов, из сближенных, мало отличающихся по составу, либо существенно разорванных по времени порций растворов разного состава. Таким образом, основу систематики руд Н. В. Петровской составляют минеральные сообщества, либо минеральные ассоциации, что конечно является наиболее приемлемым.

Понятие же рудная формация, очевидно, должно учитывать и экономическое значение месторождений, как это предлагает И. Г. Магакьян. Следуя С. С. Смирнову, И. Г. Магакьян под рудной формацией понимает «группу эндогенных рудных образований, объединенных общностью минерального состава, генетических особенностей, геологических условий проявления и сходным экономическим значением». Для гидротермальных месторождений И. Г. Магакьян выделяет около 20 рудных формаций. В приведенном определении и в его анализе правильно подчеркивается, что принадлежность к определенной рудной формации отражает не только условия образования, но и предопределяет масштаб и качество руд месторождения, следовательно, его экономическую ценность. Р. М. Константинов, уделяя в своих работах большое внимание рудным формациям и пытаясь применить математические методы для их выделения, базируясь на определении «рудная формация», предложенном С. С. Смирновым, экономическую ценность месторождения не учитывает. Этот исследователь считает целесообразным выделять еще генетические ряды рудных формаций, характеризующиеся направленным изменением состава минеральных ассоциаций.

Е. А. Радкевич, характеризуя особенности различных рудных формаций, намечает в гидротермальных месторождениях две различные в геохимическом отношении линии минералообразования: 1) кремнисто-щелочная, в которой рудные минералы ассоциируют с кварцем и щелочными алюмосиликатами и 2) железо-магнезиально-сульфидная, которая в порядке последовательности выделения представлена безводными силикатами, водными алюмосиликатами, сульфидами и карбонатами.

Из изложенного видно, что понятие «рудная формация» различными исследователями трактуется по-разному. Вместе с тем, поскольку руды месторождений слагаются определенными минеральными сообществами, которые и удается непосредственно наблюдать, то применение понятия рудная формация целесообразно лишь в том случае, если мы под ним понимаем часто по-

вторяющиеся минеральные ассоциации, развитые в сходных геологических условиях независимо от времени формирования и имеющие определенное экономическое значение. Незначительные концентрации тех же минеральных ассоциаций, не имеющие практического значения, очевидно, не могут рассматриваться в качестве рудных формаций.

Классификация гидротермальных месторождений

В рассматриваемый период советские геологи большое внимание уделили вопросам классификации гидротермальных месторождений. Это было вызвано тем, что еще не так давно общепризнанная классификация Линдгрена, построенная на учете температуры и давления, не учитывала геологическую обстановку формирования гидротермальных месторождений. То же в значительной степени относится и к классификации Ниггли, который, рассматривая вопрос о связи гидротермального оруденения с массивами изверженных пород, не проанализировал критерии этой связи и не попытался показать влияния состава вмещающих пород на процессы рудоотложения. Еще в предыдущий период советские геологи и прежде всего С. С. Смирнов сделали основные замечания по упомянутым классификациям. Однако Х. М. Абдуллаев (1954), В. И. Смирнов (1956) и Ф. И. Вольфсон (1962) высказали ряд дополнительных замечаний по упомянутым классификациям, особо подчеркнув при этом, что эти классификации строятся без учета окружающей геологической обстановки. Советские геологи предприняли ряд попыток создать либо усовершенствовать ранее созданные геологические классификации гидротермальных месторождений.

Х. М. Абдуллаев (1954) существенно уточнил ранее предложенную классификацию, за основу он вновь принял представление об условиях формирования рудоносных растворов, которые «возникают в результате активного взаимодействия магмы с вмещающей ее геологической средой, и поэтому они могут быть различными». В соответствии с этим Х. М. Абдуллаев выделил определенные генетические ряды, представляемые им в качестве наиболее важного классификационного подразделения. Внутри генетических рядов выделяются определенные генетические классы месторождений, «которые отличаются по своим геолого-минералогическим особенностям, обусловленным взаимодействием растворов с окружающими породами в определенной физико-химической и геохимической обстановке». Третьим классификационным подразделением являются генетические типы месторождений; они выделяются по признаку «наибольшей изменчивости оруденения в месторождениях подразделяемого генетического класса». Наконец, четвертым классификационным признаком служат минералогические типы, или рудные формации.

В соответствии с первым классификационным признаком Х. М. Абдуллаев подразделяет все месторождения на: 1) постмагматические, связанные с умеренно глубинными интрузивами, имеющими признаки железо-магнезиальной и реже смешанной карбонатно-силикатной ассимиляции, или с более глубинными слабо контаминированными интрузивами (граниты, аляскиты и др.). 2) постмагматические месторождения, связанные с интрузивами, имеющими признаки алюмосиликатной ассимиляции, или с более глубинными слабо контаминированными интрузивами (граниты, аляскиты и др.).

С первым из этих рядов Х. М. Абдуллаев связывает скарновые шеелитовые и другие месторождения, гидротермальные сульфидные месторождения, а также сидеритовые, флюоритовые и др. Со вторым рядом он связывает пегматитовые месторождения, а также определенные формации гидротермальных, такие как кварц-грейзен-касситеритовую, карбонат-касситеритовую и др. В откликах, появившихся при рассмотрении уточненной классификации гидротермальных месторождений Х. М. Абдуллаева, подчеркивалась оригинальность классификации, но была отмечена недостаточность, а в некоторых случаях и неубедительность критериев, предложенных для выделения генетических рядов в зависимости от степени и состава контаминированных гранитных интрузий.

П. М. Татаринев (1955, 1964) в изданном им учебном пособии по условиям образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых повторил классификацию, разработанную в предыдущий период совместно с И. Г. Магакьяном, и разделил все гидротермальные месторождения на две большие группы: 1) умеренных и частью значительных глубин и 2) малых глубин и приповерхностные. Внутри каждой из этих групп деление проводилось на высоко-, средне- и низкотемпературные. Совершенствование данной классификации выразилось в уточнении критериев определения как глубины, так и температуры формирования месторождений. Внутри каждого класса по температуре формирования П. М. Татаринев выделил семейства руд, характеризующиеся определенным составом. В частности, среди высокотемпературных месторождений малых глубин выделено семейство олово-вольфрам-висмут-мышьяковых руд и медно-золото-олово-турмалиновых. Среди среднетемпературных месторождений умеренных глубин выделены семейства полиметаллических руд, золото-сульфидных, медных медно-молибденовых и молибденовых порфирировых руд и т. д. В этой классификации не сделано четкого разграничения между семейством руд и рудными формациями. Много сходных черт с упомянутой классификацией П. М. Татаринева имеет классификация С. А. Вахрамеева (1961). Разделяя месторождения на две группы (1 — умеренных и частью значительных глубин и 2 —

малых глубин и приповерхностные), С. А. Вахрамеев дальнейшее деление производит по рудным формациям.

Уточненная классификация Ф. И. Вольфсона (1962) в общем сохраняет все основные принципы, положенные в основу первого варианта этой классификации, опубликованной на 10 лет раньше. Среди гидротермальных месторождений, связанных с гранитоидами, в зависимости от отношения к интрузивным образованиям выделяются три группы месторождений.

1. Сформированные в раннюю стадию становления магматического очага; ранние минеральные ассоциации, включающие рудные минералы, старше дайковой фации пород.

2. Образованные в позднюю стадию становления магматического очага; оруденение возникло после остывания всех изверженных пород данного рудоносного интрузивного цикла, обнажающихся на минерализованных площадях.

3. Сформированные в позднюю стадию становления магматического очага; на рудоносных площадях отсутствуют выходы гранитоидов и их дериватов.

Семь типов месторождений выделены в зависимости от состава гидротермально измененных вмещающих пород. Внутри каждой выделенной группы и типа рассматриваются главные минеральные ассоциации, типичные формы месторождений и приводятся характерные примеры. Таким образом, составленная классификационная таблица в сущности характеризует главные рудные формации. Появившиеся в печати критические замечания по данной классификации в основном направлены против положенных в ее основу принципов выделения групп и частью типов месторождений.

В. И. Смирнов (1965) выделяет пять типов гидротермальных месторождений: грейзеновые, эндотермальные, телетермальные, колчеданные и субвулканические. По сравнению со всеми ранее существовавшими классификациями дополнительно вводится понятие эндотермальных месторождений, в особый генетический тип выделены колчеданные и субвулканические месторождения. Эндотермальные месторождения включают самые различные минеральные образования, относящиеся другими исследователями к среднетемпературным, а также частью к высоко- и низкотемпературным. Особенностью их, по мнению В. И. Смирнова, является то, что они сформированы в течение ранней и средней стадии развития подвижных зон. Колчеданные месторождения, значительная часть которых, по В. И. Смирнову, относится к субмаринным, выделены также на том основании, что они возникли в раннюю стадию развития подвижных зон. Субвулканические месторождения также объединяют различные рудные образования, возникшие в раннюю или среднюю стадию развития подвижных зон; эти месторождения развиты на площадях, где проявлены эффузивные либо экструзивные породы. Таким

образом, рассмотренная классификация В. И. Смирнова строится на представлении о формировании различных типов гидротермальных месторождений в соответствии со стадиями развития подвижных зон. Вместе с тем именно это представление вызывает возражение у многих исследователей.

Новую группировку минеральных месторождений, и в том числе гидротермальных, предложил И. Г. Магакьян (1967). В каждой из 20 выделенных им рудных формаций, о которых мы упоминали ранее, названных по преобладающим минералам или компонентам, рассматривается целая серия их геологических особенностей. К ним относятся: минеральный состав руд, комплекс полезных ископаемых, магматический и литолого-стратиграфический контроль, генетический тип месторождений, структурный контроль, примеры рудных районов и месторождений, типы рудных провинций, этапы развития и геологический возраст, связь с другими формациями, поисковые признаки и методы поисково-разведочных работ. Видно, что данная классификация сходна с классификацией рудных формаций Е. Е. Захарова (1965). С другой стороны, охарактеризовав все промышленные типы минеральных месторождений и даже коснувшись поисковых признаков и методов поисково-разведочных работ, И. Г. Магакьян предлагает очень громоздкую классификацию.

Подводя итог краткому рассмотрению различных классификаций гидротермальных месторождений, опубликованных в последнее время советскими геологами, легко видеть, что большинство из них базируется на различных принципах, что естественно способствует более широкому разностороннему подходу к решению данной сложной проблемы. Пока нет классификации, которая могла бы быть принятой большинством исследователей. Работая над созданием новой геологической классификации гидротермальных месторождений, следует учесть, что из всех предложенных признаков наиболее общим и наиболее характерным является состав околожильно измененных вмещающих пород. Анализ имеющихся материалов показывает, что околожильно измененные породы не только отражают состав первичных пород, подвергшихся гидротермальным изменениям, но дают также указания о температуре и составе гидротермальных растворов, вызвавших то или иное из наблюдаемых изменений. Это позволяет считать, что околорудное изменение вмещающих пород является крайне важным общим признаком, который обязательно должен учитываться при составлении новых классификаций гидротермальных месторождений в будущем.

Экспериментальные исследования

Большинство исследователей, проводящих экспериментальные исследования и теоретические расчеты в рассматриваемый период, пришли к заключению, что металлические компоненты

переносятся в истинных растворах. В этом отношении особый интерес представляют данные, опубликованные А. Г. Бетехтиным, рассмотревшим вопрос о природе растворов, порождающих сульфидные минералы. По мнению А. Г. Бетехтина, коллоидные растворы не могут обеспечить количественно весь процесс переноса и отложения сульфидов, хотя возникновение коллоидов в последний период развития этих процессов вполне возможно. В конечном итоге А. Г. Бетехтин (1955) пришел к выводу о решающей роли истинных водных растворов как среды, переносившей на далекие расстояния все компоненты, из которых возникают сульфиды, выпадающие из этих растворов вследствие изменения физико-химических условий.

Основываясь на имеющихся сведениях о малой растворимости сульфидов в слабокислых и слабощелочных растворах, А. Г. Бетехтин высказал соображение, что при высоких температурах в растворах, содержащих сероводород, металлы могут переноситься в виде хлоридов. Аргументы А. Г. Бетехтина в пользу возможности одновременного присутствия хлоридов и сероводорода кратко сводятся к тому, что полнота осаждения сульфида из раствора, содержащего серу и металл, зависит от концентрации ионов S^{2-} , которая в связи с малыми константами электролитической диссоциации H_2S составляет лишь небольшую часть общей концентрации серы. А. Г. Бетехтин пришел к заключению, что в химических реакциях с образованием сульфидов гидротермального происхождения принимает участие не H_2S как таковой, а продукты его электролитической диссоциации в водных растворах, в частности анионы S^{2-} и $[S_2]^{2-}$. Появление анионов S^{2-} могло начаться с момента образования водных растворов, в которых растворяется H_2S . Концентрация анионов серы в растворах должна была возрастать по мере их охлаждения, поскольку в связи с этим увеличиваются растворение газа в растворах и электролитическая диссоциация H_2S . Следовательно согласно А. Г. Бетехтину, осаждение сульфидов из гидротермальных растворов должно происходить не сразу, а по достижении некоторой определенной концентрации в них анионов серы. Изложенные соображения А. Г. Бетехтина были приняты с интересом и вызвали оживленную дискуссию в советской и зарубежной печати.

Большой интерес представили замечания Я. И. Ольшанского и В. В. Иваненко в адрес гипотезы А. Г. Бетехтина. Они подтвердили данные А. Г. Бетехтина о возрастании концентрации анионов серы в гидротермальных растворах по мере их охлаждения, поскольку при этом увеличивается растворимость H_2S и повышается степень его электролитической диссоциации. Я. И. Ольшанский и В. В. Иваненко подчеркнули, что отмеченная А. Г. Бетехтиным слабая диссоциация H_2S и связанная с этим малая концентрация S^{2-} в растворах позволяют сделать вывод, что

фактическая растворимость сульфидов в растворах значительно больше расчетной, полученной рядом исследователей. Однако и при этих условиях растворимость сульфидов все же, по-видимому, мала, и для ее точного определения необходима постановка специальных экспериментальных исследований.

Я. И. Ольшанский и В. В. Иваненко (1958) произвели эксперименты по выяснению взаимодействия сульфидов с водными растворами, насыщенными сероводородом, сначала при комнатной температуре, а затем при более высокой. В результате они пришли к заключению, что металлы могут переноситься в виде различных комплексных соединений, в частности, в виде тиосульфата $S_2O_3^{2-}$, а также других серо-кислородных комплексов различных степеней окисления. О сравнительно высоком окислительном потенциале, характерном для гидротермальных растворов, можно судить по частому нахождению в сульфидных рудах магнетита, что свидетельствует о происходящем окислении хотя бы части серы, находящейся в растворах. Очевидно, в гидротермальных растворах могут существовать комплексы, подобные $S_2O_3^{2-}$, обладающие средним (между S^{2-} и SO_4^{2-}) окислительным потенциалом.

Из известных тиосульфатов легко растворимы в воде FeS_2O_3 и ZnS_2O_3 . Другие тиосульфаты хорошо растворяются в растворе тиосульфата натрия ($Na_2S_2O_3$).

Дальнейшие исследования Я. И. Ольшанского и В. В. Иваненко были направлены на выявление степени растворимости сернистого серебра. Было установлено, что растворимость сернистого серебра при комнатной температуре в миллиард раз выше по сравнению с данными термодинамических расчетов Гаррелса. При этом Я. И. Ольшанский подтвердил соображения Тредвелла о нахождении серебра в растворах в виде таких комплексов, как Ag_2HS и AgS^- , а также других, состав которых пока точно не установлен. В дальнейшем были поставлены эксперименты по выяснению растворимости сернистого серебра, содержащего радиоактивный изотоп серебра Ag^{110} . Для проведения опытов при повышенной температуре ($80-160^\circ$) был построен специальный прибор, с помощью которого растворимость радиоактивного вещества определялась без отбора пробы, непосредственно измерением радиоактивности раствора γ -счетчиком, находящимся в свинцовой защите. Было установлено, что растворимость сульфида серебра при температуре порядка сотен градусов достигает нескольких миллиграммов на 1 л, т. е. достаточно велика для того, чтобы образование гидротермальных месторождений аргентита могло происходить вследствие кристаллизации его из истинных растворов.

Упомянутые эксперименты Я. И. Ольшанского и В. В. Иваненко имели исключительно большое научное и практическое значение, так как они однозначно показали исключительно важ-

ную роль комплексных соединений в переносе металлов гидротермальными растворами. В связи с этим уместно напомнить высказывание американского ученого Краускопфа в докладе в ИГЕМ АН СССР: «Все, что мы имеем лучшего в экспериментальных исследованиях по переносу металлов гидротермальными растворами, получено Я. И. Ольшанским». Последующие эксперименты И. П. Кузьминой показали, что сульфиды свинца и цинка значительно лучше растворяются в водных растворах хлористых солей, чем в растворах сульфидов и тиосульфатов натрия, а также в растворах NaOH. Из исследованных хлоридов наибольшей растворяющей и транспортирующей способностью обладают водные растворы NH_4Cl .

Дальнейшие исследования по выяснению растворимости сульфидов с использованием метода радиоактивных индикаторов, впервые примененного Я. И. Ольшанским, было продолжено в созданной им лаборатории в ИГЕМ АН СССР Б. Н. Мелентьевым, В. В. Иваненко и Л. А. Памфиловым (1965). Эти исследователи изучали растворимость ZnS в интервале pH от 0,6 до 8 и при температурах от 100 до 180° С в растворах, насыщенных H_2S , при комнатной температуре и получили исключительно интересные результаты. 1) Растворимость цинка экспоненциально растет с повышением температуры растворов с определенным pH, заданным при стандартных условиях; 2) все изотермы растворимости в логарифмическом масштабе имеют V-образную форму, что свидетельствует о резком изменении характера растворения в области минимума. Область минимальной растворимости для 100—180° находится в интервале pH 2,5—3,6 и с повышением температуры перемещается в сторону больших pH; 3) сопоставление изотерм растворимости при 180° с концентрацией свободных ионов цинка для той же температуры, полученной термодинамическими расчетами, показывает, что в области наиболее кислых растворов (около pH=0,6) значительная часть растворенного цинка находится в растворе в виде ионов Zn^{2+} , а по мере роста pH растворов все более возрастает доля цинка, входящего в комплексные соединения, состав которых пока точно не установлен. Можно лишь утверждать, что это не хлоридные комплексы, так как стойкость их должна была бы возрастать с увеличением кислотности растворов. В щелочной области растворимость цинка может найти объяснение при наличии комплексов иного состава, чем в кислой, но тип этих комплексов пока точно не установлен; 4) растворимость цинка в кислой области выше, чем в щелочной, и достигает примерно 0,2 г/л при pH=0,6 и 160° С, а по результатам экстраполяции — 0,1 г/л при pH=3 и 350° С.

Важнейшим результатом рассмотренных экспериментов советских исследователей, с учетом данных Барнса и других американских ученых, получивших близкие результаты, является

бесспорный вывод о нахождении преобладающей части металлов в сероводородных растворах в виде комплексных соединений. Причем растворимость металлов в растворах с крайне неблагоприятным для этого составом достаточно высока и оставляет 0,1 г/л и более, что вполне достаточно для промышленных месторождений любого масштаба, известного к настоящему времени.

Важные результаты были получены по выяснению растворимости урановых соединений и возможности их переноса гидротермальными растворами.

Попытку моделировать условия переноса урановых соединений и выпадения окислов урана предпринял Р. П. Рафальский (1963). Он предполагает, что в остаточном магматическом расплаве в присутствии таких эффективных восстановителей, как Fe^{2+} и соединения серы (в низших степенях окисления), уран, видимо, в основном находится в четырехвалентной форме. По мере перехода урана в раствор и понижения температуры последнего равновесие между U^{4+} и U^{6+} постепенно смещается, вследствие чего повышается концентрация U^{6+} . Концентрация урана в гидротермальных растворах по данным Р. П. Рафальского не превышает первых сотых долей грамма в 1 л. Имеются основания предполагать, что уран переносится в виде комплексных соединений U^{6+} . При этом растворимость даже самых труднорастворимых соединений U^{6+} достаточна, чтобы обусловить возможность переноса значительных количеств урана от его источников до места отложения. В то же время в кислой среде U^{6+} может находиться в растворе вместе с таким восстановителем, как сера и ее соединения, без комплексообразователей. Экспериментальные данные подтверждают возможность образования окислов железа в результате окисления Fe^{2+} в реакции с U^{6+} . В результате можно предполагать, что U^{6+} переносился гидротермальными растворами не только вместе с серой, но и двухвалентным железом. Эксперименты показали, что температура образования настурана и уранинита происходит в интервале 100—350°.

Согласно экспериментальным исследованиям Г. Б. Наумова (Виноградов, 1963), наиболее возможной формой переноса урана являются уранил-карбонатные ионы $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2-}$ и $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$. Низкие значения окислительно-восстановительного потенциала делают возможным их нахождение в равновесии с рядом природных восстановителей, а устойчивость при нагревании обеспечивает перенос при повышенных температурах. В относительно более кислых растворах уран может переноситься и в виде уранил-фторидных ионов. При условии $[\text{F}^-] \gg [\text{CO}_3^{2-}]$ фторидная форма может оказаться основной. Роль фтора может возрастать в слабокислой среде, где при неизменной общей концентрации растворенной углекислоты концентрация ионов CO_3^{2-} быстро уменьшается за счет возрастания

концентрации ионов HCO_3^- и недиссоциированных молекул H_2CO_3 . В этих условиях концентрация фтор-иона остается практически постоянной и может значительно превысить концентрацию ионов CO_3^{2-} , даже если общее количество растворенной углекислоты остается намного большим, чем количество фтор-ионов.

Согласно В. И. Рехарскому и И. В. Мельникову, уран может также переноситься в виде комплексных уранил-молибдатных соединений типа $[\text{UO}_2(\text{MoO}_4)_2]$, которые, видимо, занимают второе место после уранил-карбонатных соединений.

Зональность оруденения

Ранее уже была упомянута гипотеза Д. С. Коржинского о важной роли кислотного выщелачивания в общем процессе рудообразования и прежде всего в образовании окolorудно измененных вмещающих пород. Анализ явлений, вызванных кислотным выщелачиванием, не только способствует глубже осознанию процессов, приводящих к окolorудному изменению вмещающих пород, но в некоторых случаях помогает глубже понять условия возникновения зональности оруденения.

Вместе с тем большинство исследователей до последнего времени придерживаются ранее высказанных представлений С. С. Смирнова о прерывистом поступлении растворов на фоне всплеск трещинообразования, приводящих к локализации различных минеральных ассоциаций в тех участках рудного поля или жил, которые оказались доступными для проникновения порций рудоносных растворов, породивших эти минеральные ассоциации. Новые данные в этом направлении были собраны А. В. Дружининым (1958), Д. О. Онтоевым (1960) и многими другими исследователями. Е. А. Радкевич (1959₁) обратила внимание на необходимость введения следующих четырех типов зональности: 1) зональность крупных рудных провинций, 2) зональность рудных поясов, 3) зональность рудных регионов относительно магматических центров, 4) зональность рудных полей и отдельных жил.

О. Д. Левицкий и В. И. Смирнов (1959) показали, что зональность оруденения вызывается многообразием условий рудообразования, которые включают: кислотно-щелочную дифференциацию растворов, по Д. С. Коржинскому, снижение температуры на путях движения растворов, изменение концентрации рудообразующих веществ в растворах в связи с фильтрационным эффектом, разбавление их вадозными водами и т. д.

Согласно А. Г. Бетехину и др. (1958), изменения минерального состава руд по простиранию и падению гидротермальных жил могут быть обусловлены: 1) интенсивностью реакции металлоносных растворов с встречающимися по пути их следования

активными боковыми породами, 2) реакцией этих растворов с водоносными горизонтами или трещинными водами иного состава, 3) дифференциацией растворов в связи с нарушением в них химического равновесия, в частности, в связи с переходом некоторых растворимых соединений в коллоидные растворы, обладающие иными физическими свойствами, 4) изменением в течение времени режима кислорода и серы в растворах.

Вопрос о зональности оруденения получил дальнейшее развитие в связи с подготовкой к Международному симпозиуму по постмагматическому рудообразованию, проходившему в Праге в 1963 г. В материалах, опубликованных перед совещанием и после него, были суммированы представления большого коллектива исследователей по вопросам зональности оруденения. Различные типы зональности охарактеризовал В. И. Смирнов (1963), который особое внимание обратил на региональную зональность (зональность рудных поясов), зональность рудных полей и рудных тел.

И. Г. Магакьян, И. Я. Некрасов, С. Т. Бадалов, И. Х. Хамрабаев, Н. А. Хрущев, Д. О. Онтюев, В. Ф. Чернышов и Б. В. Кристальный, А. Д. Щеглов, П. С. Саакян и др. показали, что в изученных ими рудных полях и месторождениях широко проявляется как пульсационная зональность, вызванная прерывистым поступлением растворов разного состава на фоне трещинообразования, впервые намеченная С. С. Смирновым, так и зональность отложения, возникающая в процессе формирования каждой стадии минерализации, впервые установленная Ю. А. Билибиным. В. Н. Дубровский и И. Н. Кига́й показали, что в изученных ими полях оловорудных месторождений Дальнего Востока также проявлены упомянутые два типа зональности в пределах минеральных ассоциаций. Наряду с этим они обратили внимание на зональное распределение в пределах изученных рудных полей редких элементов, входящих в состав одноименных минералов, сформированных в различные стадии минерализации. В данном вопросе материалы советских исследователей перекликаются с новыми данными по зональному распределению редких элементов в сульфидных минералах, установленными геологами ГДР на примере свинцово-цинковых месторождений Фрейбергского рудного поля.

При рассмотрении вопросов зональности на упомянутом совещании и позднее советские геологи большое внимание уделили выяснению причин, приводящих к возникновению региональной зональности. Я. Н. Белевцев обратил внимание на то, что появление рудоносных зон и рудных поясов, несущих оруденение различных металлов, вызвано не только развитием магматических процессов, но также и метаморфических. В. Н. Котляр подчеркнул важность при изучении вопросов региональной зональности выяснения источников рудного вещества, которое не толь-

ко выделяется из магмы, но частью селективно извлекается из вмещающих пород. Вместе с тем магматические очаги могут находиться на различных уровнях, поэтому, считает В. Н. Котляр, необходимо учитывать важную рудогенерирующую роль не только интрузивных пород, но и эффузивных образований.

Ф. И. Вольфсон, выступая совместно с Л. И. Лукиным на упомянутом симпозиуме, а затем в более поздних печатных работах, попытался объяснить причины, приводящие к возникновению региональной зональности в связи: 1) с изменением расстояния от уровня отщепления рудоносных растворов, выносящих из магматического очага различные соединения металлов до места локализации оруденения, 2) с изменением глубины положения источника рудоносных растворов, 3) в связи с блоковым строением рудоносных территорий и составом магматических пород, развитых в их пределах, 4) с различной глубиной формирования и разным вертикальным размахом оруденения у различных металлов, 5) с наблюдаемым увеличением содержания металлов в составе более поздних магматических образований и 6) с переносом металлов растворами в виде сложных комплексных соединений, обладающих различной нестойкостью. Рассмотрение этих причин во взаимосвязи позволяет объяснить наблюдаемую приуроченность месторождений олова и вольфрама, формирующихся в более ранние стадии минерализации, к тектоническим блокам, сложенным толщами, способными к пластическим деформациям, прорванных массивами рудоносных гранитоидов, а гидротермальных месторождений урановых руд и флюорита — к тектоническим блокам, характеризующимся наибольшей жесткостью и разбитым разрывными нарушениями, уходящими на значительную глубину. Месторождения других металлов (молибден, золото, медь, свинец, цинк и др.) формируются в рудных поясах, развивающихся в условиях переходных между олововольфрамовыми, ураново-флюоритовыми рудными поясами. Они размещаются в тектонических блоках более жестких по отношению к месторождениям, связанным с грейзенами, и образуются позже этих месторождений, но ранее ураново-флюоритового низкотемпературного оруденения.

Полученные в последнее время данные позволили по-новому сформулировать само понятие зональности оруденения. Было показано, что она может распространяться не только по отношению к выходам отдельных интрузивных массивов, но и к различным тектоническим элементам. Под зональностью оруденения следует понимать закономерную смену в пространстве относительно какого-либо геологического образования типов оруденения, минеральных ассоциаций, отдельных минералов или даже распространения химических элементов. Такими геологическими образованиями могут быть складчатые сооружения или зоны долгоживущих разломов глубокого заложения, отдельные

интрузивные массивы или их группы, крупные дизъюнктивные нарушения и выдержанные трещины. Очень часто отчетливая зональность проявляется в пределах отдельных рудных тел (Вольфсон, Лукин, 1963).

Околорудные изменения вмещающих пород

Значительным успехам, достигнутым в рассматриваемый период в изучении околорудного изменения вмещающих пород, в значительной степени способствовали теоретические исследования Д. С. Коржинского в области метасоматических процессов, а также работы по изучению продуктов гидротермального метаморфизма Н. И. Наковника и других. Детальное изучение околорудно измененных пород на ряде месторождений показало, что различные, сменяющие друг друга зоны измененных пород, распространяющихся в обе стороны от питающего рудоносного разрыва, представляют собой единую метасоматическую колонку, в которой все зоны возникли близко одновременно. Минеральный состав каждой из них меняется в зависимости от первичного состава пород, подвергнутых гидротермальному метаморфизму. Исследования В. И. Рехарского (1957), Н. Т. Соколовой и В. В. Королева (1959), Г. А. Лисицкой и Б. И. Омеляненко (1961; ред. Щербаков, 1966), И. Н. Кигая (1966) показали, что состав отдельных зон может также меняться с глубиной. Проведенные исследования приводят к выводу, что в ряде случаев на верхних горизонтах, а часто и над рудным телом получает преимущественное распространение только одна из зон, которая может рассматриваться в качестве поискового критерия на скрытые рудные тела.

Появление различных подзон гидротермально измененных пород при околотрещинном метасоматозе находит объяснение в связи с физико-химическими исследованиями Д. С. Коржинского (1957₁). Им показано, что при обычном случае инфильтрационного метасоматоза, когда факторами равновесия являются концентрация вполне подвижных компонентов, массы инертных компонентов, температура и объем породы, зависимость между числом одновременно устойчивых минералов и числом инертных компонентов выражается следующим образом: $\Phi = K_1 + 1$, где Φ — число существующих одновременно минералов; K_1 — число инертных компонентов. Д. С. Коржинский показал, что при постоянстве температуры и независимости от длительности процесса не будут возникать новые подзоны гидротермального изменения, а возникшие лишь будут разрастаться вширь. При движении от внешнего ореола изменения по направлению к рудной жиле в каждой из образующихся зон количество минералов, входящих в состав гидротермально измененных пород, будет в общем

случае уменьшаться на единицу, и крайняя степень изменения представит зона, сложенная одним минералом. В результате исследований последних лет Д. С. Коржинский (1957², 1958, 1966) пришел к выводу, что изменение кислотности растворов, несомненно, является главным фактором рудоотложения. Он подчеркивает, что при конденсации газовой фазы в жидкость активность кислотных компонентов должна возрастать, а оснований — понижаться, т. е. кислотность сложного раствора при конденсации должна возрастать. Повышение кислотности раствора будет благоприятствовать реакциям с замещением более сильных оснований породы более слабыми, с общим понижением ее основности. Наоборот, понижение кислотности раствора, насыщенного в отношении породы, может вызвать серию реакций замещением более слабых оснований более сильными, а также осаждение компонентов раствора в порядке возрастающей основности, т. е. базификацию основных пород. В основу гипотезы «опережающей волны кислотности», как уже отмечалось, было положено представление о дифференциальном течении компонентов растворов, с более быстрым просачиванием кислотных компонентов по сравнению с основаниями, что является, по мнению Д. С. Коржинского, проявлением «кислотно-основного фильтрационного эффекта».

Д. С. Коржинский считает, что эксперименты В. А. Жарикова над фильтрацией водных растворов сульфатов и хлоридов меди, железа и других металлов, показавшие, что средняя скорость фильтрации кислотных компонентов солей может на десятки процентов превышать скорость фильтрации оснований этих солей, полностью подтверждают «кислотно-основной фильтрационный эффект».

В силу кислотно-основного фильтрационного эффекта волна кислотности продвигается в потоке постмагматических растворов быстрее основных компонентов. Вследствие этого в каждом сечении потока постмагматических растворов, т. е. на различных расстояниях от их источника, создаются закономерные переломы в ходе постмагматического процесса. Сам же этот процесс, по мнению Д. С. Коржинского, распадается на 4 стадии.

1. Ранняя щелочная стадия — воздействие трансмагматических растворов основного этапа.

2. Кислотная стадия — возрастание кислотности растворов вплоть до достижения максимальной кислотности, кислотное выщелачивание вплоть до полного окварцевания.

3. Поздняя щелочная стадия — стадия понижающейся кислотности растворов, вызванной уходом волны кислотности. Основания отстают от волны кислотности и пересыщают растворы. (Это повышение основности растворов, согласно Д. С. Коржинскому, и является главной причиной осаждения руд в гидротермальных жилах).

4. Заключительная нейтральная стадия наступает после осаждения из растворов пресыщающих их оснований. В эту стадию также происходит образование многих жильных месторождений.

Прохождение волны кислотности, по Д. С. Коржинскому, вызывает своеобразную «гидротермальную кислотно-основную дифференциацию» в породах, через которые просачиваются растворы. Основные компоненты, выщелоченные в кислотную стадию из значительных объемов пород, после ухода волны кислотности осаждаются преимущественно в трещинах пород, так как при преобладании осаждения поры пород легко закупориваются. Это приводит к концентрированному отложению в виде жил, вплоть до промышленных месторождений все тех компонентов, которые были выщелочены из больших объемов пород. Вначале Д. С. Коржинский предполагал, что все металлогенные компоненты, входящие в состав руд, выщелачиваются из большого объема пород, через которые протекали кислотные компоненты.

В дальнейшем по мере привлечения новых данных Д. С. Коржинский пришел к выводу, что из пород выщелачивается только часть компонентов, входящая в состав рудных жил. Он отметил, что «пересыщение растворов основаниями после прохождения волны кислотности должно было вызывать осаждение из них также и магматогенных металлов, сконцентрированных в остаточных растворах при кристаллизации магмы. Эти магматогенные металлы в свою очередь частично могли происходить из осадочных толщ, подвергавшихся магматическому замещению, а частью могли быть принесенными трансмагматическими растворами».

Представления Д. С. Коржинского о магматогенном источнике части металлических соединений, входящих в состав гидротермальных месторождений, в общем совпадают с более ранними высказываниями С. С. Смирнова. Правда, С. С. Смирнов высказывал мнение, что основная масса металлов имеет магматический источник, хотя часть их могла заимствоваться из вмещающих пород по пути движения растворов, либо находиться в вадозных водах, смешивающихся с ювенильными.

Последующее изучение геологии рудоносных провинций, районов и отдельных рудных полей подтвердило представления С. С. Смирнова по данному вопросу. Сопоставления имеющихся данных, сделанные А. В. Королевым, В. П. Федорчуком, Ф. И. Вольфсоном и Л. И. Лукиным, а также специальные исследования, проведенные В. Л. Барсуковым, Ю. И. Беляевым, Ф. И. Сергеевой и Н. Т. Соколовой (1967), показали, что только петрогенные компоненты, входящие в состав минералов рудных жил, заимствуются растворами из пород на месте или перетрагуются на относительно небольшое расстояние. К ним также от-

носятся Ni, Co, V, Cr, Sr, иногда Tl, Ba и некоторые другие элементы, которые часто отлагаются после основной рудной стадии. Основная же масса цветных, редких и благородных металлов, относимых А. В. Королевым к экзотическим, привносится из глубин (или извне, как это считает В. Л. Барсуков и др.). Месторождения этих металлов возникают в различных геологических условиях независимо от того, по каким породам просачивались растворы из магматического очага в верхние части земной коры.

Условия отделения рудоносных флюидов от магматического очага

По вопросу об условиях отделения рудоносных флюидов от магматического очага в рассматриваемый период были опубликованы новые данные Л. Н. Овчинникова, И. Н. Кигая и некоторых других исследователей.

Л. Н. Овчинников (1959, 1967) пришел к выводу, что процесс мобилизации металлов происходит с момента внедрения гранитной магмы. Он отмечает, что гранитный расплав представляет собой сложную микрогетерогенную ионно-электронную жидкость, содержащую, помимо преобладаний силикатной части и растворенных в ней газов, рассеянные мельчайшие капли электронной жидкости, состоящей из металлов или их сульфидов. Такое представление Л. Н. Овчинникова согласуется с данными Я. И. Ольшанского об ионно-электронных жидкостях, опубликованными последним еще в 1950 г. Капли электронной жидкости начинают коалесцировать с начала внедрения расплава и, аналогично процессу пенной флотации, выносятся газовыми пузырьками вверх, в породы кровли, а затем и в затвердевшие верхние части интрузии. В процессе выноса продолжается дальнейшее собирание капель рудного вещества и одновременно они растворяются в газах. Газы, обогащенные рудным веществом, вначале проникают вверх широким фронтом через капилляры пород, а затем в виде струй по благоприятным тектоническим путям, ослабленным или локально прогретым зонам, что приводит к формированию длительно существующих металллоносных флюидальных потоков. Л. Н. Овчинников предполагает, что ионная силикатная жидкость в свою очередь микрогетерогенна с естественной тенденцией к отделению путей ликвидации той части рудообразующих элементов, которая находится в ионной форме. Процесс такой ликвидации может наступить при падении температуры и давления, вызванного подъемом магмы в верхние части земной коры, либо в результате ассимиляции магматическим расплавом известняков или других богатых кальцием пород. Л. Н. Овчинников высказывает предположение, что появление в расплаве таких пород не только способствует отделению электронной жидкости, но и приводит к вытеснению из силикатного

расплава рудообразующих элементов, находящихся в ионной форме.

Наряду с упомянутым механизмом ряд химических элементов, остающихся в ионном состоянии и входящих в силикатный расплав, в процессе эволюции этого расплава, отвечающей падающей температуре, накапливается в обогащенных газовой фазой его дифференциатах или позднем остаточном расплаве. Это приводит затем к образованию пегматитовых, грейзеновых, альбитовых и других высокотемпературных месторождений. Согласно рассмотренному механизму мобилизации металлов в расплаве, не находит подтверждения представление о металлогенической специализации гранитоидов.

Я. И. Ольшанский, как известно, ввел понятие об ионно-электронных жидкостях для анализа возможных условий формирования сульфидных месторождений магматического происхождения, моделирование процессов образования которых он производил. Л. Н. Овчинников допускает, что отделение ионно-электронной жидкости от магматического расплава может приводить и к формированию некоторых типов постмагматических месторождений. Предположительно отделение рудообразующего вещества с последующим возникновением постмагматических месторождений за пределами материнского очага, по Л. Н. Овчинникову, происходит только на таких глубинах и в такой среде, когда породы кровли проницаемы для газов и не проницаемы для вязкого гранитного расплава, т. е. когда создаются осмотические условия. Процесс осмотической дистилляции будет происходить, по мнению Л. Н. Овчинникова, в течение всего времени существования расплава: с момента внедрения вплоть до окончания кристаллизации. Однако это предположение неполностью согласуется с фактическими данными по времени формирования гидротермальных месторождений, возникающих, как это было показано ранее, значительно позднее дополнительных и малых интрузий. В этом отношении большой интерес представляют последние экспериментальные данные Н. И. Хитарова, показывающие, что магматические расплавы, остывающие до глубины 15—20 км, отделяют остаточные растворы в основном к концу их становления, и только находясь на глубинах 30—35 и более километров, они способны многократно отделять летучую составную часть.

Соответственно, флюиды, выносящие металлические соединения из магматического расплава, по-видимому, поднимаются с достаточно больших глубин, отвечающих тому уровню, где они могут неоднократно отделяться от расплавленных масс.

Учитывая несоответствие летучести галогенидов различных металлов и наблюдаемой последовательности кристаллизации рудных минералов, И. Н. Кига́й (1966) приходит к выводу, что металлические соединения, отделяющиеся от магматического

очага, проходят две стадии развития. По его данным, температура гранитного расплава достаточна для выноса из магмы совместно с парами воды галогенидов практически всех рудообразующих металлов. Однако отдельные из них, например, олово и вольфрам, в силу высокой летучести их галогенидов могли достигать сферы рудоотложения и отлагать металлы в виде касситерита и вольфрамита. Галогениды других металлов (не считая молибдена) менее летучи, но по мере миграции флюидов из расплава они должны были осаждаться раньше касситерита и вольфрамита и на больших глубинах, в виде галогенидов или других соединений. И. Н. Кига́й отмечает, что «порядок осаждения галогенидов должен был определяться их относительной летучестью, поэтому раньше всего должны были осаждаться галогениды серебра, затем свинца и цинка». Галогениды всех этих металлов достаточно хорошо растворимы и все они должны были испытать вторую стадию развития, переходя в растворенное состояние с того момента, как только в зоне их нахождения появлялись горячие растворы с относительно высокой плотностью. Эти растворы, естественно, переносили металлы дальше от металлоносного источника. Постепенно уплотнение растворов в ходе остывания надынтрузивной зоны происходило, по предположению И. Н. Кига́я, сверху вниз, что должно было обусловить переход в раствор возникших несколько ранее соединений различных металлов в последовательности, обратной осаждению галогенидов из газов, но совпадающей с последовательностью отложения металлических соединений из растворов.

Изложенные представления И. Н. Кига́я требуют экспериментальной проверки. Однако, как показал сам автор, не все металлы по летучести их галогенидов и растворимости соединений укладываются в рассмотренную схему, в частности, несколько аномально поведение меди и ртути. Поэтому И. Н. Кига́ю приходится усложнять намеченную схему, поскольку он стремится найти объяснение упомянутым аномалиям.

При анализе рассматриваемой проблемы большой интерес представляют экспериментальные данные Н. И. Хитарова и др. (1967₂). Эти данные позволяют осветить для гранитного расплава некоторые стороны сложной проблемы поведения воды в расплаве при подъеме его с глубин, начиная с 30—35 км. На основе представлений о двух возможных путях удаления воды из расплава, а именно посредством массообмена с водой внешней среды и вследствие вскипания расплава при достижении насыщенного состояния, намечались условия дифференциации магматических расплавов с отделением воды. Авторы считают дифференциацию с отделением воды вследствие вскипания локальным процессом, который возможен лишь в верхних частях магматического очага.

Поглощение или отдача воды магмой вследствие массообмена с водой внешней среды зависит от первоначальной концентрации воды в расплаве, давления на расплав и давления воды во внешней среде. Проведенный эксперимент ограничен рассмотрением только одного летучего компонента — воды. Однако для магм их дифференциация с отделением воды или перераспределение воды по объему расплава должны сопровождаться дифференциацией и потоками других компонентов магмы. Для высоколетучих компонентов, многие из которых могут быть связаны с рудными элементами, коэффициенты распределения между силикатным расплавом и равновесной водной фазой должны быть несравненно больше, чем для силикатных компонентов, поэтому отделяющаяся водная фаза должна быть значительно обогащена ими.

Из выделенных вариантов массообмена магматических расплавов с водой внешней среды несомненный геохимический интерес представляет способность магмы поглощать воду в нижних частях очага в сбрасывать ее в верхних частях очага вследствие изменения условий массообмена. В этом случае медленно текущая магматическая масса может быть активным переносчиком вещества, извлеченного вместе с водой на больших глубинах. В силу избирательного растворения магматический расплав должен стать своеобразным фильтром, концентрирующим вполне определенные элементы.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Огромный объем геологоразведочных работ и научных исследований в рассматриваемый период привели к значительному расширению и углублению наших представлений по геологии всех металлов и других видов минерального сырья. Е. Е. Захаров, Ф. И. Вольфсон и другие исследователи предложили новые группировки свинцово-цинковых месторождений, Н. А. Хрущев — молибденовых, Е. А. Радкевич, С. Ф. Лугов и др. — оловорудных, В. Э. Поярков — ртутных и сурьмяных, В. С. Домарев, В. Н. Котляр, Я. Д. Готман, И. Н. Зубарев, Д. Я. Суражский, М. Н. Альтгаузен и В. И. Данчев — урановых, П. М. Татаринов, Б. Я. Меренков, В. П. Петров, Ю. К. Андреев и И. И. Бок — неметаллических полезных ископаемых.

Большая часть этих группировок учитывает общие представления о характере физико-химической системы, породившей руды, что дает возможность в эндогенной группе выделять собственно магматические месторождения, пегматитовые и гидротермальные. В основном же все упомянутые классификации строятся на учете геологического строения месторождений, минерального состава слагающих их руд (рудные формации), гео-

логической позиции месторождений, состава исходных вмещающих пород и их гидротермально измененных разностей, формы и условия залегания рудных тел. Все они, в сущности, представляют собой геологические классификации.

Так, например, свою классификацию геологических типов ртутных и сурьмяных месторождений В. Э. Поярков (1962) строит по формационному принципу. Однако он учитывает также и физико-химические условия образования этих месторождений, которые, по его данным, удается различать путем анализа геологического строения рудоносных площадей. Согласно В. Э. Пояркову, положение месторождений геологически весьма четко очерчивается нижней поверхностью распространения свободного, химически активного кислорода. Это позволяет ему подразделить месторождения ртути и сурьмы на две большие группы: приповерхностного генезиса, образующиеся в основном вследствие окисления рудоносных растворов свободным кислородом, и глубинные, в формировании которых существенную роль играл фильтрационный эффект. Глубинные месторождения ртути и сурьмы разделяются на классы, в зависимости от их приуроченности к группам формаций пород, возникающим: 1) при геосинклинальном типе тектонического режима, 2) при переходном от геосинклинального к платформенному, 3) при платформенном. Для месторождений приповерхностного генезиса ввиду их малочисленности указанная группировка не производится.

В. Э. Поярков отмечает, что классификация ртутных и сурьмяных месторождений, основанная на формационном принципе, учитывает закономерности размещения рудовмещающих формаций и их геологические особенности, влияющие на распространение и характер эпигенетической по отношению к ним ртутной и сурьмяной минерализации. Косвенно она позволяет выяснить значение и роль глубинных источников рудообразующих растворов. Эта классификация может найти практическое применение лишь при рассмотрении низкотемпературных гидротермальных месторождений, залегающих в подавляющем большинстве в осадочных слоистых толщах. Для других гидротермальных месторождений, залегающих в самых разнообразных осадочных, изверженных и метаморфических породах эта группировка мало подходит. Поэтому все упомянутые выше другие классификации отдельных металлов за основной классификационный признак чаще всего принимают минеральные ассоциации либо рудные формации. Именно так построена классификация Н. А. Хрущева по молибденовым месторождениям, Е. Е. Захарова и Ф. И. Вольфсона по свинцово-цинковым и т. д.

Е. П. Малиновский (1965) в качестве основного классификационного признака вольфрамитовых месторождений принял

околорудное изменение вмещающих пород, меняющееся в зависимости от щелочности — кислотности растворов. Соответственно этому первые два типа месторождений, возникших в период кислотного выщелачивания, сопровождаются грейзенизацией вмещающих пород, третий тип (кварц-вольфрамитовые месторождения), возникающий при переходе растворов от слабокислых к слабощелочным, сопровождается березитизацией вмещающих пород и четвертый тип месторождений, возникающий из щелочных растворов (поздняя щелочная стадия), сопровождается серицитизацией и карбонатизацией вмещающих пород.

Не останавливаясь на рассмотрении других упомянутых выше классификаций отдельных металлов, следует отметить, что все они существенно дополняют и развивают общие классификации гидротермальных рудных и неметаллических месторождений, созданных советскими геологами.

Работ по месторождениям отдельных металлов и неметаллического сырья за рассматриваемый период опубликовано исключительно много. Большая их часть характеризует геологию отдельных месторождений и рудных полей, либо групп месторождений определенных районов и провинций. Меньшее количество работ посвящено общим вопросам геологии месторождений отдельных металлов либо отдельных видов неметаллических ископаемых.

Больше всего публикаций посвящено полиметаллическим месторождениям Рудного Алтая (П. Ф. Иванкин, А. И. Семенов, М. Г. Хисамудинов, Г. Н. Щерба, А. К. Каюпов, С. Г. Анкенович, Б. И. Вейц, Д. И. Горжевский, Г. Ф. Яковлев, А. А. Гармаш, В. Д. Баранов и др.). В этих работах охарактеризованы тектонические закономерности размещения оруденения в различных районах Рудного Алтая, структурно-геологические позиции рудных полей и месторождений. Важные данные получены геофизическими исследованиями по глубинному строению рудного Алтая и Калбы. А. К. Каюпов в своем докладе на Пятой всесоюзной металлогенической конференции показал, что в пределах полиметаллического пояса Рудного Алтая базальтовый слой оказывается расположенным ближе к земной поверхности, чем в редкометальном поясе Калбы, где значительно более мощным оказывается гранитный слой. Наряду с этим опубликованы результаты детального изучения минерального состава руд по большому числу месторождений, рассмотрены околорудные изменения вмещающих пород и для ряда месторождений описана зональность оруденения. Детальные исследования показали, что полиметаллическое оруденение сформировалось в пермское время позднее всех даек кислых и основных пород и что промышленные руды в основном локализуются в нескольких пачках тонкого переслаивания пород, характерных для отложений

среднедевонского возраста, в пределах которых, либо несколько ниже их, заканчиваются разломы, проявленные в нижнепалеозойском фундаменте и обусловившие складчато-глыбовое строение характеризуемой рудоносной провинции. Показана многостадийность формирования сульфидного оруденения, характеризующаяся отложением в течение первой стадии основной массы пирита, затем халькопирита, сфалерита, галенита и сопутствующих им минералов, а в самую позднюю стадию — минералов серебрянного парагенезиса, местами ассоциирующих с поздним баритом.

По вопросу генезиса полиметаллических месторождений рудного Алтая имела место достаточно острая дискуссия. Было показано, что представление об эффузивно-осадочном происхождении полиметаллических месторождений Алтая и о среднедевонском их возрасте противоречит факту структурного контроля оруденения и проникновению его в вышележащие образования нижнего карбона.

Большое количество работ было опубликовано также по геологии свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья и в том числе книга коллектива геологов-производственников и научных работников (В. В. Аристов и др., В. В. Архангельская, Ф. И. Вольфсон, Н. В. Горлов, М. Р. Дудин и др., В. Н. Дубинин и др., И. Р. Заворотных, В. Н. Козеренко, В. С. Кормилицын, К. Ф. Кузнецов, А. И. Кулагашев, Г. М. Лобанова, Д. Б. Плигина, О. П. Полякова, Н. Н. Трофимов, В. Н. Титов, М. А. Свирский, Б. П. Санин, Е. А. Радкевич, Н. А. Читаева, К. Д. Шолкин и др.).

В отдельных изданиях были опубликованы материалы по геологическому строению и условиям размещения наиболее важных рудных полей и месторождений: Кличкинского и других, а также данные о геохимических особенностях свинцово-цинковых руд и нахождения в них золота, серебра, редких и рассеянных элементов (В. В. Архангельская, Г. А. Мейтув, Ф. В. Калинин, Г. И. Князев, В. И. Красников, А. И. Кулагашев, К. Ф. Кузнецов, А. З. Образцова и др.). Во всех упомянутых и ряде других работ показаны структурно-геологические позиции рудных районов и отдельных рудных полей Приаргунского полиметаллического пояса, подчеркнута ведущая роль разрывных нарушений в размещении рудных полей. Показано, что верхняя часть рудных тел свинцово-цинковых месторождений формировалась на глубине от 500 до 1500 м от бывшей поверхности. Наблюдаемые пласто-, линзо-, трубо- и штокообразная (в связи с древними карстами) формы рудных тел, характерны для нижнего палеозойского структурного этажа, сложенного слоистыми толщами. Штокверковые и жилообразные рудные тела в гранитоидах нижнего этажа сопровождаются рудными столбами, обычно развивающимися в ксенолитах диоритов.

Типичные простые и сложные рудные жилы, местами сопровождающиеся штокверками в наиболее хрупких пластах эффузивов, развиты в слоистых толщах верхнего структурного этажа, представленных кластическими осадками нижней и средней юры и эффузивами верхней юры. Руды сложены несколькими парагенетическими ассоциациями, из коих более ранние представлены пиритом и арсенипиритом. Позднее отлагались галенит и сфалерит, и заканчивался процесс минерализации накоплением сульфасолей, а в Кличкинском рудном поле также более поздним флюоритом. Нахождение в рудах и рассеянных элементов — таллия, галлия, индия, теллура, селена и др. находится не только в связи с составом руд, но и вмещающих пород. Таллий накапливается в сульфосолях, залегающих в карбонатных породах; он не характерен для месторождений, залегающих в алюмосиликатной среде. В последних чаще накапливается индий, связанный не только со сфалеритом, но и сульфостаннатами и другими минералами.

— Определение абсолютного возраста свинцово-цинковых месторождений калий-аргоновым методом по адуляру и другим калиевым минералам, ассоциирующим с сульфидами свинца и цинка, показали нижнемеловой возраст характеризуемых месторождений.

Немало работ опубликовано в рассматриваемый период и по месторождениям Дальнего Востока, Прибайкалья, Сибирской платформы, Западной Сибири, Центрального и Южного Казахстана, Средней Азии, Урала и других районов.

Не имея возможности подробно останавливаться на характеристике всех этих работ, отметим, что Е. А. Радкевич и другие геологи, работающие под ее руководством, опубликовали результаты детального изучения Тетюхинского и других свинцово-цинковых месторождений Дальнего Востока, осветив структурно-геологические позиции рудных полей, структурные условия локализации оруденения, стадийность минералообразования, что дало возможность глубже подойти к выяснению вопросов генезиса изученных свинцово-цинковых месторождений скарновой формации. В. С. Кормилицин дал первое описание вновь выявленного Таборного свинцово-цинкового месторождения, залегающего в протерозойских образованиях Прибайкальского хребта и тяготеющего к крупному послейному разрыву, развивавшемуся по контакту известняков и тальковых сланцев. М. П. Просняков и др. впервые охарактеризовали Горевское месторождение, выявленное среди синийских образований в устье р. Ангары и характеризующегося развитием богатых галенит-сфалеритовых руд, ассоциирующих на некоторых участках со скарновыми минералами. Ряд работ посвящен характеристике минерального состава, рассмотрению возрастных соотношений свинцово-цинкового оруденения с дайками, а также

структурных особенностей Салаирских колчеданно-полиметаллических месторождений (У. Г. Дистанов и др.).

Охарактеризовано также в целой серии публикаций геологическое строение, структурные условия локализации и вопросы генезиса большей части свинцово-цинковых месторождений Центрального и Южного Казахстана (И. З. Корин, В. В. Колесников, И. И. Князев и др.).

По свинцово-цинковым месторождениям Средней Азии, наряду с целым рядом работ, характеризующих геологическое строение и геохимические особенности месторождений Карамазара (Н. В. Нечелюстов, Е. М. Некрасов и др.), а также Южного Узбекистана (З. Мурадов и др.) были опубликованы статьи и книги по геологии свинцово-цинковых месторождений Алтын-Топканского, Кансайского, Курусайского и др. рудных полей (В. М. Бабенко, Ф. И. Вольфсон, В. А. Королев, В. Н. Титов, И. В. Дуброва, Ю. А. Шихин, Г. А. Осипова, В. А. Жариков, И. И. Орлов, В. А. Тарасов, Ш. Х. Рахимов и др.). Особый интерес вызвали исследования Е. М. Некрасова, М. М. Константинова, И. В. Мельникова и др., посвященные закономерностям размещения, геологическому строению и вопросам генезиса свинцово-цинковых месторождений Садонского пояса и других районов, а также работа М. Б. Бородаевской и др., представляющая первое описание вновь открытого Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения, имеющие сходные черты с другими колчеданными месторождениями, но залегающего, в отличие от них, не среди эффузивов и их туфов, а среди юрских песчано-сланцевых образований и приуроченного к крупному разрыву. Новые данные опубликованы О. А. Осетровым по свинцово-цинковым месторождениям Урала.

Наряду с рассмотрением геологического строения свинцово-цинковых месторождений, находящихся в различных рудных районах, А. А. Амирасланов (1957) опубликовал обобщающую работу, в которой охарактеризовал различные типы свинцово-цинковых месторождений.

Продолжалась также дискуссия по условиям образования свинцово-цинковых месторождений, находящихся в районах отсутствия выходов изверженных образований и залегающих в карбонатных породах. В частности, была издана под редакцией Н. М. Страхова ранее написанная книга М. М. Константинова (1963), который пришел к выводу об осадочном происхождении большинства этих месторождений. Такого же мнения придерживается В. М. Попов (1964). Однако геологи, изучавшие строение промышленных месторождений данного типа, установили, что образование этих месторождений контролируется тектоническими элементами и сопровождается доломитизацией и другими видами гидротермального окolorудного изменения вмещающих карбонатных пород, что дает основание для

заклучения о гидротермальном происхождении этих месторождений. К заведомо осадочным свинцово-цинковым месторождениям в известняках, не сопровождаемым эпигенетическими изменениями вмещающих пород, из известных относятся небольшие по масштабу рудопроявления, хотя и распространенные на значительной площади.

Большое число работ было опубликовано по геологии медных месторождений всех генетических типов — магматических медно-никелевых, контактово-метасоматических и гидротермальных, возникших в различных геологических условиях. Однако больше всего работ посвящено характеристике геологического строения и вопросам генезиса медноколчеданных месторождений. Среди них особый интерес представляют работы М. Б. Бородаевской и ее сотрудников: У. С. Натикова, М. С. Михайловой и др. В этих работах, а также в работе Н. В. Петровской, А. Д. Ракчеева, И. В. Ленных и в более ранних публикациях С. Н. Иванова последовательно отстаивается гидротермально-метасоматическое происхождение медноколчеданных месторождений Южного Урала и показывается важное значение тектонических элементов в локализации оруденения. Однако, как уже отмечалось, в последнее время были опубликованы статьи и книги, в которых высказывается представление об эксгальационно-осадочном происхождении колчеданных месторождений Северного Кавказа. С. Н. Иванов изменил свои более ранние представления; по его мнению, эксгальационно-осадочное происхождение имеют многие медноколчеданные месторождения Урала. Однако данные детальных исследований, однозначно указывающих на структурный контроль оруденения, а также установленный факт существования в процессе формирования этих месторождений надрудной толщи пород мощностью до 1500 м не дают возможности большинству геологов согласиться с этим мнением и более обоснованным им представляется гидротермально-метасоматическое происхождение характеризуемых месторождений.

В рассматриваемый период большое количество работ посвящено также рассмотрению вопросов геологии и генезиса месторождений, относящихся к типу медистых песчаников. По вопросу об условиях образования этих месторождений продолжалась оживленная дискуссия. Одни исследователи (К. И. Сатпаев, Ш. Е. Есенов, П. Т. Тажибаева, Н. Н. Нуралин, В. К. Сейфулин и др.), во главе с К. И. Сатпаевым, базируясь на установленном факте структурного контроля оруденения и на наблюдаемых околорудных изменениях вмещающих пород, пришли к выводу, что эти месторождения являются типичными низкотемпературными гидротермальными образованиями. Другие (В. М. Попов, Д. Г. Сапожников, Н. М. Страхов и др.) на основе главным образом литолого-фациального контроля ору-

денения, пришли к выводу об осадочном происхождении Джек-казганского и других месторождений медистых песчаников. К осадочным, согласно Н. Н. Бакуну, М. Е. Бердичевской, Ю. В. Богданову, Р. Н. Володину, В. С. Домареву, Л. Ф. Наркелюну и других геологов, относится также Удоканское месторождение Северного Забайкалья, залегающее в песчаниках протерозойского возраста.

В 1965 г. И. П. Резников указал на ряд черт Удоканского месторождения, не согласующихся с представлением о его осадочном происхождении. По его данным, медное оруденение развито не в одном, а целом ряде горизонтов удоканской серии и оно наблюдается среди пород разного литологического состава, обладающих различными текстурными особенностями. Эти факты, по мнению И. П. Резникова, свидетельствуют об имевшем место перераспределении рудных компонентов после отложения вмещающих пород. В связи с этим он приходит к выводу, что Удоканское месторождение относится к осадочно-гидротермальному типу и формируется постмагматическими растворами, которые были обогащены медью за счет растворения и переотложения рудных минералов, первично рассеянных в породах Удоканской серии. Однако и И. П. Резников не учитывает всех особенностей геологического строения рассматриваемого месторождения, без которых нельзя сделать правильный вывод о его генезисе. В частности, не учитывается то, что на Удоканском месторождении прослеживается дайка габбро-диабазов, пересекающая всю Удоканскую толщу. Дайка эта подвергнута интенсивному гидротермальному изменению (хлоритизации и тремолитизации) и несет вкрапленность и скопления халькопирита, которые наблюдаются с обеих зальбандов на мощность не менее 10 м. Этот факт сам по себе дает достаточно оснований для предположения о возможном гидротермальном происхождении Удоканского медного месторождения, в пределах которого оруденение, очевидно, развито в горизонтах, обладающих благоприятными физико-механическими свойствами и прежде всего повышенной проницаемостью для растворов.

Среди работ, характеризующих геологическое строение золоторудных месторождений и методы их изучения, немногие являются обобщающими. Среди них прежде всего должна быть упомянута книга Н. И. Бородаевского (1960) по методике изучения структур золоторудных месторождений и их оценке, в которой изложен большой опыт автора по изучению месторождений, находящихся в различной геологической обстановке и обобщен богатый материал других исследователей по данному вопросу.

Следует также указать на опубликованное монографическое описание Бaleyского золоторудного месторождения и всего рудного поля, выполненного Н. В. Петровской, П. С. Беренштей-

ном, С. Г. Мирчинком и М. Г. Андреевой (1961), в котором с большой детальностью охарактеризованы минеральный состав руд, стадийность минералообразования и подробно описаны условия локализации золотого оруденения в пределах рудного поля.

Не останавливаясь на упоминании других работ по геологии золоторудных месторождений, следует отметить, что в рассматриваемый период исследования не ограничились изучением месторождений Казахстана, Урала и Сибири. Большое внимание было уделено также изучению геологии вновь выявленных золоторудных месторождений и рудопроявлений в Казахстане, Средней Азии и Закавказье. Геологическое строение вновь выявленного в Казахстане золоторудного месторождения Бакырчик изучено Г. С. Катковским, Е. Т. Маковкиным, А. Я. Котывым и др. Условия размещения, геологическое строение и минеральный состав руд открытого в 1961 г. на территории Узбекистана золоторудного месторождения Муран-тау нашло отражение в опубликованных работах и докладах на конференциях — В. Г. Гарьковца, И. Х. Хамрабаева, К. Т. Мустафина, Н. В. Петровской, С. Д. Шера, М. В. Склярова, Н. Б. Вольфсона и др.

В изучении Зодского золоторудного месторождения в Армянской ССР приняли активное участие С. М. Матевосян, И. Г. Магакьян, Л. С. Меликян и др.

Крупные исследования были проведены по геологии оловорудных месторождений, позволившие осветить ряд общих вопросов по классификации этих месторождений, уточнить сложившиеся представления по условиям их формирования и осветить ряд важных вопросов геологии отдельных рудоносных провинций. По первому из упомянутых вопросов интересные исследования были проведены Е. А. Радкевич, которая предложила различать две группы оловорудных формаций: силикатно-кварцевую и силикатно-сульфидную. В дальнейшем эта классификация была более детально разработана М. П. Материковым (1964), который предложил выделить дополнительно силикатно-карбонатную группу оловорудных формаций, в которую он включил оловоносные скарны, касситерит-флюорит-силикатную и касситерит-карбонатно-сульфидную формации. Ив. Ф. Григорьев и Е. И. Доломанова (1955) предложили выделять дополнительно переходную касситерит-кварц-сульфидную формацию и указали на специфический состав этой формации. Особенности месторождений касситерито-силикатной формации в связи с вопросами их оценки рассмотрены А. И. Александровым.

Геология оловорудных месторождений отдельных рудоносных районов и провинций рассмотрена в работах многих исследователей. В частности, Т. Б. Жилинский предложил группировку оловорудных месторождений Центрального Казахстана.

Х. Н. Баймухамедов, М. П. Материков, Н. К. Маршукова и А. Б. Павловский рассмотрели геологию отдельных месторождений, охарактеризовали оловорудные формации, закономерности их размещения и общую перспективу оловоносности Средней Азии. Ив. Ф. Григорьев, Е. И. Долломанова, А. В. Дружинин, Ж. Н. Рудаков, Н. И. Тихомиров и В. В. Аристов те же вопросы осветили по оловорудным месторождениям Восточного Забайкалья. И. Я. Некрасов, а также А. И. Бородянский и Б. А. Лешкова предложили группировку и охарактеризовали геологию оловорудных месторождений Якутии, а также бассейнов р. Яны и Индигирки. В. К. Чайковский описал геологию оловорудных месторождений всего северо-востока СССР. С. Ф. Лугов, Д. И. Овчинников и А. В. Зильберминц рассмотрели оловорудные формации и отдельные оловорудные месторождения Чукотки. В. Т. Матвеев охарактеризовал петрологию и особенности металлогении Омсукчанского рудного узла Магаданской области. И. Н. Говоров, Р. М. Константинов, М. П. Материков, М. И. Ициксон, Д. В. Рундквист, И. Н. Томсон, В. П. Полохов, И. Н. Кигай, В. Н. Дубровский рассмотрели типы оловорудных формаций, геологию месторождений и вопросы генезиса оловорудных месторождений Дальнего Востока.

Среди разнообразных вопросов, освещенных в упомянутых работах, особый интерес представляют вопросы связи оруденения с магматизмом. В этом отношении заслуживают упоминания представления И. Я. Некрасова об условиях образования оловорудных месторождений северо-восточной Якутии. Он приходит к выводу, что находящееся в рассеянном состоянии олово в пороодообразующих биотитах извлекается при их мусковитизации постмагматическими растворами и его бывает вполне достаточно для образования промышленных оловорудных месторождений.

Общие вопросы размещения оловорудных месторождений рассмотрены М. И. Ициксоном (1958, 1963). Он указал, что оловорудные районы имеют два главных типа геолого-структурного положения в геосинклинальных областях: 1) оловорудные пояса и районы, располагающиеся в подвижных бортовых частях геосинклиналей, там где они сочленяются с выступами платформы, срединными массивами или ранее консолидированными геосинклинальными структурами (обычно в области сочленения появляются мощные разломы), 2) оловорудные пояса, расположенные в структурно-фациальных зонах крупных внутренних синклиналиев. Интрузивные массивы, обнажающиеся в пределах рудных узлов, обычно располагаются вдоль осей складок.

Ранее уже упоминалось, что вопросы классификации вольфрамовых месторождений нашли отражение в работе Е. П. Малиновского. Кроме того, они рассмотрены А. Д. Щегловым

(1964) и А. М. Быбочкиным (1965). А. Д. Щеглов предлагает классифицировать вольфрамовые месторождения по рудным комплексам, выделяя золото-вольфрамовый, скарновый, оловянно-вольфрамовый, собственно вольфрамовый и антимонит-вольфрамовый комплексы. В. А. Быбочкин, развивая представления, ранее высказанные О. Д. Левицким, выделяет среди гидротермальной группы вольфрамовых месторождений — грейзеновый, кварц-полевошпатовый, кварц-топазовый, кварц-шеелитовый, кварц-шеелит-антимонитовый и кварц-кальцит-шеелит-антимонитово-ртутный типы месторождений. Из изложенного следует, что упомянутые две классификации в основном строятся на учете минерального состава руд.

Классификация вольфрамитовых месторождений Е. П. Малиновского является более всесторонней, так как в ней при выделении типов учтены не только минеральные ассоциации, но также геологические и геохимические условия формирования этих месторождений.

Среди работ, посвященных геологии вольфрамовых месторождений, минеральному составу руд, условиям образования и закономерностям размещения особый интерес представляют работы Г. Н. Щербы (1960), А. В. Пэка (1962), Е. П. Малиновского (1965), Б. В. Кристального, Ю. С. Бородаева, В. Ф. Баранова и др.

Г. Н. Щерба дал подробное описание вольфрамитовых месторождений Центральной части Казахстана. Он показал, что оруденение тяготеет к куполам гранитных интрузивов и формировалось на глубине 2,5—5 км при температурах 200—500°. Г. Н. Щерба предполагает, что рудоносные очаги находились внутри массивов акчатауских гранитов второй фазы, которые и являлись рудогенерирующими.

А. В. Пэк дал подробное описание геологического строения рудного поля и месторождения Тырны-ауз, обратив особое внимание на структурные условия локализации скарнов и связанных с ними руд. Ю. С. Бородаев в соавторстве с Р. Ю. Орловым охарактеризовал генетические типы и эпохи формирования вольфрамового и молибденового оруденений западной части Большого Кавказа.

Е. П. Малиновский, касаясь особенностей размещения кварцево-вольфрамитовых жильных месторождений и учитывая данные Г. Н. Щербы, приходит к выводу, что самой общей закономерностью размещения вольфрамовых месторождений является приуроченность их к областям максимального прогибания земной коры. Формируются они на относительно небольших глубинах — от 600 м до 4 км.

Геологическое строение и условия образования скарново-шеелитовых месторождений, залегающих в гранитоидах, изучались Б. В. Кристалным на примере рудного поля Чорух-Дайрон

в Таджикской ССР. Особенностью месторождений этого рудного поля является то, что жильные скарново-рудные зоны залегают в интенсивно альбитизированных и скаполитизированных монцонитах. Б. В. Кристальный показал, что минерализация в этих зонах сформировалась в пять стадий минерализации: 1) гранат-пироксен-скополитовую, 2) шеелит-гранатовую, 3) шеелит-сульфидно-альбит-водносиликатную, 4) флюорит-баритовую и 5) кальцитовую. В начальные моменты первой скарновой стадии широко проявилась скаполитизация гранитоидов до образования пироксена и граната. В период ее проявления в монцонитах метасоматически возникла пироксен-дипировая порода, а в гранодиоритах — пироксен-мариолитовая. Обе эти породы характеризуются соотношением скаполита и пироксена, равным 5:2.

Содержание СаО в метасоматических породах немного превышает его содержание в неизменных гранитоидах и, следовательно, высвобождения СаО при их скаполитизации не происходило. Проведенные исследования показали, что для формирования скарнов СаО поступал из глубин. Разведочными работами к северу от Чорух-Дайрона выявлены на глубине останцы известняков, прорванных монцонитами. Соответственно можно предполагать, что при формировании месторождений Чорух-Дайронского поля СаО заимствовался по пути движения растворов в известняках, а главные рудные компоненты — вольфрам, молибден и другие выносились из магматического очага (Кристальный, 1966).

Результаты детального изучения вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья были опубликованы в работах А. В. Дружинина, И. З. Самонова и Е. П. Малиновского. Важным является вывод о формировании вольфрамового оруденения после всех даек, развитых на рудоносных площадях. Установлены разные условия формирования пологопадающих рудных жил, выполнивших открытые полости, и крутопадающих, возникших вдоль сколовых нарушений путем замещения рассланцованных вмещающих пород с усвоением метасоматическими кварцеворудными жилами реликтовой полосчатости, ранее возникшей в этих зонах рассланцевания.

Вопросы пространственного размещения вольфрамовых месторождений юго-восточной части Забайкалья и Северо-Востока СССР рассмотрены А. Д. Щегловым, В. Т. Матвеевко и В. Ф. Алявдиным. Ими выделяются группы и типы вольфрамовых месторождений с присущими им особенностями формирования.

В. Ф. Барабанов на примере изученных им вольфрамитовых месторождений Восточного Забайкалья показал, что кварцево-вольфрамитовые жилы возникли синхронно с грейзенизацией.

Как уже отмечалось, классификация молибденовых месторождений была разработана Н. А. Хрущевым (1959), который выделил восемь рудных формаций. Другой вариант классификации был предложен В. Т. Покаловым (1964), разделившим эндогенные молибденовые месторождения на три рудные формации: медно-молибденовую, молибденовую и молибден-вольфрам-редкометалльную. По его данным, медно-молибденовая формация в зависимости от вмещающих пород содержит два типа месторождений: медно-порфировые (в алюмосиликатных породах) и скарновые (в карбонатных породах). В. И. Рехарский и В. В. Дистлер считают целесообразным выделение полевошпатово-кварцевой формации молибденовых месторождений.

Переходя к краткому рассмотрению опубликованных работ по геологии молибденовых месторождений отдельных рудоносных провинций, следует отметить, что среди них особый интерес представляет монография Ф. В. Чухрова (1960) по Восточно-Коунрадскому месторождению. В этой монографии Ф. В. Чухров впервые со всей определенностью показал, что рудные жилы молибденовой формации, сопровождающиеся грейзенизацией вмещающих пород, являются более ранними по сравнению с вольфрамитовыми¹. Вместе с тем было установлено, что в главной Восточно-Коунрадской молибденоносной зоне отчетливо проявляются вертикальная и горизонтальная зональность грейзенов, сопровождающих оруденение. Для грейзенов, развитых в залюбандах рудных жил, характерно обогащение кварцем и вынос оснований. В подрудном поясе грейзенов широко развита альбитизация, сопровождаемая выносом калия. В надрудном поясе широко проявлено замещение полевых шпатов мусковитом. Отмеченные особенности состава грейзенов автор объясняет ослаблением выщелачивания под действием кислых растворов в верхней части жильной системы по сравнению с ее нижними частями.

Важные данные об условиях формирования молибденовых и вольфрамовых месторождений в связи со становлением ритмичных гранитоидов и особенностей геологии и генезиса гранитоидов месторождений в зависимости от различных геологических условий их нахождения были опубликованы М. М. Повилайтис (1967). М. М. Повилайтис пришла к выводу, что постоянная ассоциация высокотемпературных месторождений молибдена и вольфрама с ритмично-зональными телами гранитоидов вызвана ритмичной кристаллизацией магмы, происходящей в неравновесных условиях, что способствует накоплению этих металлов в остаточных расплавах.

Новые данные по минеральному составу руд и геологическим особенностям месторождений медно-молибденовой формации

¹ В дальнейшем эта закономерность была подтверждена в Восточном Забайкалье и в других рудоносных провинциях.

были опубликованы С. Т. Бадаловым, С. С. Мкртчяном и К. А. Карамяном.

Многочисленные исследования были проведены в области изучения геологии сурьмяных и ртутных месторождений. При этом особое внимание было уделено изучению различных сторон геологии сурьмяного и сурьмяно-ртутного оруденения Южной Ферганы. В. А. Невским (1955) была показана исключительная выдержанность типа минерализации по простиранию основных тектонических элементов района и на значительных вертикальных интервалах по падению, но резкая смена вкрест их простираний. Эта закономерность вызвана последовательным раскрытием разрывных нарушений на фоне поступающих из глубин рудоносных растворов.

В. П. Федорчук (1964) попытался рассмотреть позицию рудоносных поясов, среди которых он выделяет: 1) приуроченные к периферическим частям древних выступов подвижных участков платформ, 2) тяготеющие к окраинным частям крупных межгорных впадин в палеогеосинклинальных областях, 3) локализующиеся вдоль систем краевых глубинных разломов в мезогеосинклинальных областях, 4) приуроченные к поясам развития неовулканической и современной вулканической деятельности в геосинклинальных областях кайнозойского возраста. В. П. Федорчук в другой своей работе, посвященной методике поисков и разведке скрытого ртутно-сурьмяного оруденения, охарактеризовал с новых позиций генетические типы ртутно-сурьмяных месторождений и большое внимание уделил выяснению условий локализации оруденения в зависимости от состава вмещающих пород, строения разрывных нарушений и складчатых сооружений, влияющих на размещение оруденения, а также условий экранирования рудоносных растворов при их поступлении в зону рудоотложения. На основании этих данных, а также учета околорудноизмененных пород упомянутому автору удалось выделить ведущие структурно-морфологические типы рудных тел и наметить основные поисковые признаки.

Н. А. Никифоров (1959) рассматривает структурно-геологические позиции ртутно-сурьмяных месторождений Южной Ферганы в зависимости от их положения в складчатых сооружениях и внутреннего строения разрывных нарушений, контролирующих оруденение. По условиям размещения им выделяются три типа ртутно-сурьмяных месторождений: 1) тяготеющие к зоне контакта карбонатного разреза с перекрывающими их терригенными породами, 2) приуроченные к карбонатным породам без видимого экранирования терригенными формациями и 3) расположенные в сложных терригенных или эффузивно-сланцевых толщах.

В. Э. Поярков (1955) по условиям размещения ртутно-сурьмяных месторождений в разрезе выделяет три типа месторождений: 1) межформационные, под полупроницаемым экраном,

характеризующиеся наличием рудных тел пластообразной формы, 2) внутрiformационные, залегающие внутри толщи относительно однородных пород, и 3) подчиненные перемежающимся толщам сложного и пестрого литологического состава с богатыми пластовыми рудными телами.

Важные данные по условиям локализации ртутного оруденения получены И. Л. Никольским в районе Никитовского месторождения в Донбассе. Исследованиями В. А. Кузнецова, Н. И. Бородаевского, В. П. Турчинского, М. Г. Жарикова и др. было показано широкое распространение киноварных месторождений, так называемой листовитовой формации, ранее известных только в Горном Алтае (Акташ, Чаган-Узун и др.). Было доказано широкое распространение ртутных месторождений этой формации в Средней Азии (Чонкой), Восточном Казахстане (Чарская зона), Азербайджане (Агятаг и др.). Рассматриваемые месторождения развиты в зонах листовитизации, приуроченных к крупным разломам, вдоль которых внедрились ультрабазиты. Рудные тела характеризуются столбообразной формой и при относительно небольшом сечении прослеживаются на значительную глубину.

А. Д. Щегловым описаны своеобразные комплексные месторождения сурьмяно-ртутно-вольфрамовые, установленные в Забайкалье. Выявлен новый ртутный район на северо-востоке СССР, где проявлены штокверковые зоны в алюмосиликатных породах, а также согласные и секущие тела в порфиридных дацитах. Геология этих месторождений изучена И. Е. Дабкинским, В. А. Титовым, П. В. Бабкиным, Е. Р. Дубининой и др.

Новые данные установлены по геологии ртутных месторождений Кавказа, среди которых преобладают представители киноварно-диккитовой формации, залегающие в алюмосиликатных породах. В изучении геологии этих месторождений активное участие приняли К. В. Платонов, А. В. Нетреба и др. Закономерности размещения ртутной минерализации на территории Большого Кавказа нашли отражение в опубликованной работе Н. Г. Демидовой.

В целях совершенствования поисковых критериев на сурьмяные и ртутные месторождения был произведен большой объем исследований по изучению общих вопросов геохимии ртути (А. А. Сауков, Н. Х. Айдинян, Н. А. Озерова) и первичных ореолов рассеивания. В этом отношении особый интерес представила работа Н. А. Озеровой (1962), О. В. Вершковской, Г. А. Тереховой, М. А. Карасика и др. Эти исследователи показали, что появление интенсивных ореолов и условия их проявления в значительной степени зависят от литологических особенностей вмещающих пород. На примере Кадамжайского месторождения было показано, что среди надрудной песчано-сланцевой толщи повышенные содержания ртути в ореолах приурочены к сланцам

с повышенным содержанием углеродистого вещества или к песчанникам. В первом случае на первый план выступают сорбционная способность углеродистого вещества и его роль как осадителя ртути, во втором — пористость песчанников. Новые ценные сведения были получены по минералогии ртутных месторождений, барометрии киновари и др. В частности, В. А. Кузнецов показал, что киноварь кристаллизуется при температуре 70—120°, а дорудная гидротермальная аргиллизация возникла при 250°.

При рассмотрении пегматитовых, грейзеновых и других типов эндогенных месторождений уже были показаны некоторые из имеющихся успехов в области изучения геологии месторождений редких и сверхредких металлов, включая эндокриптные элементы. Вместе с тем нельзя не упомянуть достигнутых в нашей стране успехов в области изучения месторождений некоторых редких элементов, которые по имевшимся ранее представлениям якобы не дают концентрации в среднетемпературных гидротермальных месторождениях. К таким элементам, в частности, относится бериллий. Проведенные исследования показали, что этот элемент, имеющий исключительно важное значение в новой технике, дает промышленные скопления как в высокотемпературных, так и среднетемпературных гидротермальных месторождениях, концентрируясь не только в берилле, но также в фенаките, гельвине и ряде других минералов. В частности, работами И. Н. Говорова и других выявлены и детально описаны новые типы бериллиевых месторождений — слюдисто-альбитовый и фтор-бериллиевый, представляющие собой ранее неизвестные гидротермальные образования.

Заканчивая рассмотрение основных работ по изучению геологии главнейших металлов, концентрирующихся в гидротермальных месторождениях, нельзя не отметить в качестве особого достижения большого коллектива советских геологов-производственников и научных работников, руководимого Д. И. Щербаковым, А. П. Виноградовым, П. Я. Антроповым, Н. С. Зонтовым, В. И. Кузнецовым и др., — создание сырьевой базы для нового вида промышленности и, по существу, нового направления в учении о рудных месторождениях — геологии радиоактивных элементов. Это новое научное направление создавалось усилиями специалистов различного профиля, проводящих всесторонние комплексные геологические исследования и собравших огромный фактический материал, который позволил выяснить условия образования и закономерности размещения разнообразных типов урановых месторождений и послужил важным вкладом в развитие всей науки о рудных месторождениях.

Проведенными исследованиями, результаты которых в последнее время начали широко освещаться в печати, установлено, что урановое оруденение формировалось в различные эпохи развития земной коры, связанные с протерозойским, каледонским,

герцинским, киммерийским и альпийским тектоно-магматическими циклами. Урановое оруденение развито в провинциях, в пределах которых получили распространение месторождения и других металлов: железа (магнетит), олова, вольфрама, мышьяка, меди, золота, свинца, цинка, сурьмы, ртути и т. д. По времени образования урановое оруденение, как правило, существенно оторвано от времени возникновения высокотемпературных и части среднетемпературных месторождений и образуется близко одновременно со средне-низкотемпературным сульфидным, диарсенидным, а также флюоритовым и баритовым оруденением.

Территории, которые по ассоциации заключенных в них рудных месторождений представляют собой урановые провинции, располагаются преимущественно в интрагеоантиклинальных поднятиях, срединных массивах и краевых прогибах складчатых областей, осложненных поперечными поднятиями, а также в зонах активизации докембрийских щитов и в узких депрессиях, развитых в их пределах. Урановое оруденение образуется либо в завершающий этап развития геосинклинальных областей и перехода их в платформенное состояние, либо в заключительный этап активизации щитов и платформ. Формируется урановое оруденение в поздние стадии единого гидротермального процесса, связанного с данным тектоно-магматическим циклом. По данным В. И. Казанского и др. (Щербаков, ред., 1966), для ураноносных провинций характерно блоковое, мозаичное строение, выражающееся в чередовании поднятых и опущенных тектонических блоков. Относительно благоприятны для развития уранового оруденения наиболее жесткие блоки с относительно устойчивым воздыманием. Для ураноносных областей характерно проявление глубоких расколов в земной коре, способствующих поднятию из глубин поздних магматических и постмагматических продуктов. В ураноносных блоках, испытывающих воздымание, проявляется преимущественно кислый и субщелочной магматизм. Широко развиты здесь поздние интрузивные образования гранитоидов трещинного типа.

Для гидротермальных урановых месторождений, как это было показано В. И. Казанским, Л. И. Лукиным, Н. П. Лаверовым, Б. Л. Рыбаловым, Е. П. Сонюшкиным, Л. В. Хорошиловым и Ф. И. Вольфсоном (Щербаков, ред., 1966), наиболее отчетливо выявляются особенности условий формирования и локализации оруденения в зависимости от его нахождения в различных структурных этажах и ярусах. Гидротермальные урановые месторождения, сформировавшиеся в образованиях нижнего структурного этажа, обычно развиваются в зонах крупных разрывных нарушений, возникших в течение древней складчатости и многократно подновлявшихся в последующее время. Здесь же проявляются и пластовые рудные тела, залегающие согласно с вмещающими метаморфическими породами, собранными в сложные складки.

Для урановых месторождений, залегающих в нижнем этаже, характерно развитие не только урановой смолки, но также уранинита, браннерита и ненадкевита. Общей особенностью этих месторождений является широкое развитие метасоматических процессов при рудоотложении и значительный вертикальный размах оруденения, достигающий 2 км.

В связи с развитием складчатых структур и крупными разломами наблюдается также урановое оруденение в нижнем ярусе геосинклинального этажа. Здесь в составе руд в основном развита урановая смолка, но местами отмечается также браннерит и ураноносный апатит. Вертикальный размах оруденения составляет 1—1,5 км. Рудоотложение протекает как в условиях проявления метасоматических процессов, так и выполнения открытых пустот. При рудоотложении важное значение имеют как благоприятный химический состав вмещающих пород, играющих роль восстановителей, так и их физико-механические свойства. В образованиях верхнего яруса среднего этажа развиты лишь урановосмолковые руды, локализующиеся вдоль трещинных зон, секущих вулканогенно-осадочные слоистые толщи, субвулканические образования и породы жерловой фации. Урановая смолка ассоциирует преимущественно с сульфидами и распространена по вертикали в интервале, не превышающем 1000 м. В размещении оруденения наряду с крутопадающими разрывами, важное значение имеют пологопадающие нарушения. Локализуется оруденение в породах, благоприятных по своим физико-механическим свойствам. В близких условиях развивается урановое оруденение и в породах верхнего структурного этажа, где его вертикальный размах чаще измеряется первыми сотнями метров и редко достигает 1000 м.

Гидротермальное урановое оруденение во всех структурных этажах формируется под надрудными слоистыми толщами, и верхние части рудных тел формировались, как правило, на глубине 500—1000 м от поверхности, существовавшей в процессе оруденения.

В результате проведенных большим коллективом геологов-производственников и научных работников исследований существенно расширились наши представления о типах эндогенных урановых месторождений, что нашло свое отражение в упоминавшихся ранее классификациях Д. Я. Суражского и В. С. Домарева. Открытие на территории СССР различных месторождений метасоматических и прожилково-вкрапленных железо-урановых, так называемых альбититовых, уран-молибденовых, уран-апатитовых и уран-титановых руд, ранее неизвестных в мировой практике, показало несостоятельность ранее имевшихся представлений о месторождениях пятиэлементной формации как о наиболее важном промышленном типе гидротермальных урановых месторождений. Большое внимание отечественными исследователями

(Г. А. Пелымский, С. Н. Кашпиров и др.) уделено выяснению литологического контроля гидротермального уранового оруденения. При этом для месторождений, залегающих в образованиях нижнего структурного этажа и нижнего яруса среднего этажа, наиболее благоприятными по своему составу являются амфиболиты и пироксеновые скарны, перемежающиеся с горизонтами других алюмосиликатных пород. А. И. Тугаринов, А. С. Павленко и И. В. Александров (Виноградов, ред., 1963), а также Б. И. Омеляненко (Щербаков, ред., 1966) провели важные исследования по выяснению состава и условий возникновения зон околорудного изменения, сопровождающих гидротермальные урановые месторождения.

А. И. Тугаринов и др. изучили условия проявления высоко-температурного натрового метасоматоза (альбитизация и образование щелочных амфиболов). Проведенными петрографически и экспериментальными исследованиями установлено, что этот вид изменения вызывается воздействием на вмещающие породы слабощелочных — до нейтральных растворов, вступавших в реакцию с окружающей средой при температуре 280—500° С.

Б. И. Омеляненко детально охарактеризовал березитизацию, аргиллизацию и кварц-альбитовое изменение пород, вмещающих гидротермальное урановое оруденение. Проведенные Б. И. Омеляненко термодинамические расчеты показали, что все эти изменения возникают при воздействии на вмещающие породы нейтральных растворов, обладающих Eh от — 0,32 до — 0,43 мв, при температуре 200—300° С. Характерным является то, что в каждой ураноносной провинции проявляется какой-нибудь один из упомянутых типов гидротермального изменения вмещающих пород.

Как уже упоминалось, в последние годы проведен большой объем минералогических исследований. При этом большое внимание уделялось выяснению различных сторон генезиса природных окислов и силикатов урана. М. В. Соболев и И. А. Пудовкина обнаружили отчетливую связь физических свойств урановой смолки и уранинита со степенью окисленности минерала, которая может быть определена по параметру кристаллической решетки. Ю. М. Дымков и В. А. Монова показали, что для природных окислов урана характерны непрерывные изменения при окислении, связанные либо с внедрением в кристаллическую решетку кислорода, либо с выносом урана.

Существенно изменились представления о генезисе настурана. Специальные исследования этого минерала и экспериментальное изучение механизма его образования, проведенное Р. П. Рафальским (1963), поставили под сомнение ранее имевшееся представление об этом минерале как о затвердевшем геле. Ю. М. Дымковым выдвинута гипотеза о первоначальном выпадении настурана из раствора в виде метастабильных соединений — ромбической

U_3O_8 или гексагональной U_2O_5 , впоследствии перешедших в кубический UO_{2+x} .

В. Е. Бойцовым, Б. В. Бродиным, И. В. Мельниковым, Г. А. Тананаевой и др. были выявлены своеобразные ассоциации минералов, находящихся в парагенезисе с настураном. В частности, установлены в парагенезисе с настураном молибденит, селениды, самородный мышьяк, минералы висмута и другие.

М. Ф. Стрелкин на примере изучения медно-висмутовой ассоциации минералов показал, что она возникла за счет переотложения более ранних минеральных ассоциаций под воздействием ураноносных растворов. Зависимость состава урановых руд от состава ранее образованных минералов или пород подмечена также А. И. Тишкиным, И. Г. Ченцовым, Ю. М. Дьяковым и др. Эти данные свидетельствуют о заимствовании ураноносными растворами петрогенных и некоторых металлогенных элементов из вмещающих пород. На некоторых гидротермальных урановых месторождениях установлен интенсивный внутрижильный метасоматоз, приводящий к многократному замещению минералов урана и последующему их переотложению.

Ранее были изложены данные экспериментальных исследований, которые дают ценную информацию для суждения о возможной природе рудообразующих растворов.

ЭКЗОГЕННЫЕ И МЕТАМОРФОГЕННЫЕ РУДНЫЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В рассматриваемый период крупные исследования проведены в области изучения геологии и геохимии практически всех экзогенных и метаморфогенных месторождений металлов и неметаллического сырья. По упомянутому вопросу опубликовано большое количество оригинальных работ. Основные полученные данные изучения условий формирования экзогенных и метаморфогенных месторождений металлов суммированы в трех книгах трудов Лаборатории осадочных полезных ископаемых, опубликованных под редакцией Л. В. Пустовалова, в виде серии «Металлы в осадочных толщах» (1964, 1965, 1966).

Особенно важные результаты получены по изучению условий образования экзогенных урановых месторождений, а также месторождений железа, бокситов, фосфоритов, серы и др. Не имея возможности охарактеризовать в небольшой книге современное состояние учения об условиях образования всех экзогенных и метаморфогенных месторождений металлов и неметаллического сырья, мы попытаемся осветить некоторые общие вопросы теории образования экзогенных месторождений, а затем отдельно остановимся на новых данных по изучению геологии месторождений железа, урана, бокситов, фосфоритов и серы.

Общие вопросы формирования экзогенных рудных месторождений рассмотрены в работах многих исследователей, но наиболее подробно они охарактеризованы в ряде работ Н. М. Страхова, Л. В. Пуетовалова и в специальной книге Д. Г. Сапожникова (1961).

Согласно данным упомянутых авторов, по условиям образования экзогенные месторождения разделяются на остаточные и осадочные, кроме того, выделяются немногочисленные месторождения, занимающие промежуточное положение, так как они образуются в результате выветривания осадочных рудных накоплений. Основными факторами, определяющими концентрацию первично осадочных рудных образований, являются: 1) наличие источника рудного компонента, 2) благоприятный рельеф региона, 3) наличие благоприятных климатических условий.

Поступление рудного вещества для образования месторождений может идти из трех источников. Одним из них являются исходные породы. Значительную роль играет непосредственное выделение солей и рудных компонентов из морской или озерной воды, а также извлечение их природными сорбентами. Третий источник — различные вулканические выделения рудных элементов, имеющие место в ходе эффузивного процесса.

Говоря об особенностях осадочного рудного процесса, упомянутые авторы подчеркивают, что первичные рудные концентрации, образовавшиеся в стадию накопления осадка, могут претерпевать существенные изменения под воздействием более поздних процессов, протекающих в стадии диагенеза и катагенеза.

Осадочные породы и полезные ископаемые, связанные с ними, образуются в различных геологических условиях, причем процесс седиментации обладает специфическими особенностями в зависимости от того, в какой геотектонической обстановке он протекает.

Обстановка седиментации и образования осадочных рудных месторождений в платформенных областях характеризуется рядом специфических особенностей, из которых главными являются стабильные тектонические условия, свойственные платформам. Среди пород верхнего структурного этажа, развитых на платформах, в том случае, если они отложились в течение рудной эпохи, выделяются несколько различных комплексов минеральных образований. Одни из них включают формации морских осадочных отложений, вторые — континентальные осадочные формации, третьи — объединяют породы коры выветривания. Отложения всех комплексов обычно тесно связаны друг с другом и образуют целую гамму постепенных переходов. Каждый комплекс накапливается в условиях определенной зоны на платформе и с каждым из них связывается свой круг месторождений.

Д. Г. Сапожников выделяет четыре зоны седиментации и рудообразования на платформе.

Нулевая зона включает возвышенные участки на платформе и прилегающие к ней гористые части складчатых областей.

Первая зона (частичного выноса и формирования остаточных месторождений) охватывает невысоко приподнятые участки платформ, в пределах которых происходит химическое разложение материнских пород.

Вторая зона (формирования осадочных континентальных месторождений) включает обширные пониженные площади платформ.

Третья зона (формирования морских месторождений) — эпиконтинентальные морские водоемы, в которых происходит отложение морских осадочных пород и полезных ископаемых осадочного генезиса.

Согласно представлениям Д. Г. Сапожникова, при движении поперек основных зон седиментации и рудообразования можно при благоприятных условиях последовательно встретить различные комплексы осадочных пород и месторождения, связанные с ними. Начиная от приподнятых областей, выделяемых в нулевую зону, встречаются образования коры выветривания, включающие многочисленные остаточные месторождения. Последние составляют первый член ряда. Далее следует вторая зона, характеризующаяся распространением континентальных формаций, с которыми связаны речные, болотные, озерные и другие месторождения. Все они относятся ко второму члену ряда. В пределах морских бассейнов третьей зоны формируется последний (третий) член ряда осадочных месторождений.

Д. Г. Сапожников приходит к выводу, что осадочные месторождения, образовавшиеся за время рудной эпохи, когда из областей питания более или менее постоянно поступает минеральный материал, занимают в пределах ряда совершенно определенное положение. Оно определяется вначале (на суше) расстоянием от области сноса, а затем (в морском бассейне) — расстоянием от берега водоема.

В целях прогнозирования возможности выявления осадочных месторождений прежде всего должны выясняться следующие основные данные и предпосылки: 1) характер источника полезного компонента и геохимические особенности области питания, 2) особенности тектонического режима региона и его палеорельеф, 3) палеоклимат эпохи рудообразования. Кроме того, следует иметь в виду особенности геологических процессов, диагенеза осадков и катагенетических изменений осадочных образований.

Д. Г. Сапожников считает сорбцию одним из главных причин концентрации малых и редких металлов из природных вод в бассейнах седиментации.

Большое значение придается также явлениям коагуляции коллоидных растворов, в форме которых в поверхностных пресных водах переносится часть металлов. Коагуляция этих раство-

ров больших масштабов достигает обычно в дельтовых областях под влиянием действия электролитов морской воды (Попов, 1964).

Согласно представлениям многих авторов, диагенетические преобразования металлоносных осадков ювязаны со сложными химико-минералогическими преобразованиями и перераспределением, в результате чего происходит накопление полезных компонентов в промышленных количествах. Огромное значение в этот период приобретает сероводород, образующийся при разложении органического вещества и восстановлении сульфатов, благодаря чему происходит замена кислородных соединений тяжелых металлов сульфидными. Последнее, как считает Н. М. Страхов, связано с очень малой растворимостью сульфидов Cu , Pb , Zn , в сотни и тысячи раз меньшей, чем растворимость основных карбонатов, в форме которых поступают эти металлы в осадок. Отсутствие или малое количество сульфидов Fe и Mn в осадочных рудах Cu , Pb и Zn Н. М. Страхов объясняет тем, что катионы Cu , Pb и Zn и некоторые другие дают с S^{12+} наименее растворимые твердые фазы и при менее низких величинах Eh , поглощая большую часть S^{2-} или почти все его количество. Вследствие этого кислородных соединений Fe и Mn присутствуют в этих месторождениях в виде кислородных соединений (Страхов, 1962).

Огромную роль играют преобразовывающиеся в процессе диagenеза иловые воды, обогащающиеся за счет десорбции металлов и диффузии солей тяжелых металлов из придонных вод и приобретающие характер минерализованных растворов, из которых при определенных физико-химических условиях возможен перевод в осадок определенных соединений тяжелых металлов (Попов, 1964).

Большое значение придается также стадии катагенеза при осадочном рудообразовании. Ее связывают с участием рудоносных пластов в складкообразовании, благодаря которому рудные накопления претерпевают различные изменения. В этих изменениях Н. М. Страхов усматривает два круга явлений: 1) залечивание возникающих разнообразных трещин переотложенными рудными и частью жильными минералами, 2) перемещение рудных накоплений вдоль пластов, что связывается с растворением и переотложением их подземными подогретыми вадозными водами. Обычно такое перераспределение проявляется в малых масштабах и не изменяет седиментационно-диагенетического характера месторождений.

В. М. Попов считает, что термодинамическая обстановка катагенеза может характеризоваться повышением давления до 800—900 атм и температуры до 90—100° С. При этом рудное вещество, так же как и вмещающие породы, подвергается перекристаллизации с образованием новых минеральных видов «гипогенного облика».

В свете изложенных теоретических предпосылок в рассматриваемый период появилось много публикаций, в которых высказывается предположение, что в экзогенных условиях происходит формирование промышленных месторождений не только руд черных металлов и бокситов, но также руд свинца-цинка, меди и других цветных и редких металлов. В развитии этих представлений большую роль сыграли экспериментальные исследования Е. В. Рожковой и О. В. Шербак (1956) по сорбции свинца углями, глинами, доломитами. Опыты проводились с $PbNO_3$, растворенной в дистиллированной воде до содержания по 10^{-3} мг/л, пропускавшуюся через желоб, на дне которого помещались сорбенты. В других опытах сорбенты заливались этим же раствором. В обоих случаях определялись общие емкости сорбции, которые по свинцу достигали целых долей процента.

К настоящему времени выработаны следующие основные критерии для выделения осадочных месторождений Cu, Pb и Zn.

1. Строгая стратифицированность, выдерживающаяся на больших пространствах, измеряющихся километрами, десятками и даже сотнями километров по простиранию и десятками и сотнями квадратных километров по площади. Породы, слагающие рудоносные пласты, ничем не отличаются от вмещающих и нерудоносных.

2. Независимость от складчатых или разрывных структур района.

3. Отсутствие пространственной связи с интрузивными породами.

4. Отсутствие признаков «горячего метаморфизма» под влиянием интрузий или гидротермальных вод.

5. Возрастное соответствие изотопного состава свинцов руд и рудовмещающих пород.

Однако все изложенное не может объяснить наблюдаемые геологические особенности известных промышленных свинцово-цинковых месторождений в известняках, а также промышленных месторождений медистых песчаников. Оруденение этих месторождений контролируется разрывными нарушениями и локализуется в породах с благоприятными физико-механическими свойствами. Все это позволяет отнести известные промышленные месторождения свинцово-цинковых и медных руд, залегающих в осадочных породах, к низкотемпературным гидротермальным образованиям.

Изложенные выше данные, характеризующие условия залегания экзогенных месторождений, указывают лишь на возможность обнаружения в будущем промышленных собственно осадочных месторождений свинца, цинка и меди.

Детальное изучение коры выветривания и связанных с нею месторождений бокситов, каолинитов, руд железа, никеля и других полезных ископаемых получило дальнейшее развитие. В этом

отношении большой интерес представили исследования В. П. Петрова (1967), который показал, что мощные коры возникают в условиях тектонического покоя и постоянства действующей поверхности. Это дало ему возможность высказать гипотезу, что древние коры выветривания представляют собой реликты почв прошлых геологических периодов.

И. И. Гинзбург сформулировал представление о стадийности минералообразования при выветривании. Данные исследований И. И. Гинзбурга и его сотрудников позволяют определить тип никеленосной коры выветривания, характер профиля выветривания и зональности минеральных образований в его пределах. Эти данные позволили К. К. Никитину уточнить методику составления прогнозных карт для поисков никелевых месторождений.

Проведенные геохимические и гидрохимические исследования (Ю. Ю. Бугельский) показали, что при формировании никелевых руд важное значение имеет инфильтрационный процесс. Детальное изучение никелевых минералов коры выветривания, проведенное И. В. Витовской и С. И. Берхин, существенно изменили представление о никелевых силикатах, которые в большинстве случаев оказываются смешанно-слоистыми образованиями.

В рассматриваемый период ценные данные по условиям формирования калийных и других солей были опубликованы Н. М. Страховым, А. А. Ивановым, С. М. Корниевским, М. П. Фивегом, А. Л. Яншиным, П. М. Татариновым, А. Е. Рыковским и др.

А. А. Иванов (1959, 1960) показал, что калийные месторождения в СССР связаны с ископаемыми соленосными формациями, в которых процесс эволюционного развития галогенного осадконакопления достиг завершающих этапов — кристаллизации наиболее легко растворимых калийных и калиево-магниевых солей. Соответственно, залежи последних накапливаются в верхних горизонтах разреза соленосной формации. Их образование было вызвано испарением в условиях аридного климата огромных водных масс, поставлявших в солеродный бассейн значительное количество растворенных солей. Такие условия могли возникать лишь в результате связи солеродного бассейна с водоемами морского типа и питания их за счет морских вод. Согласно А. А. Иванову, все ископаемые калиеносные формации накапливались на платформах, испытавших в эпохи галогенной седиментации длительное прогибание, в результате которого и создавались условия для накопления мощных толщ галогенных и сопровождающих их образований. Исследования показывают, что накопление солей происходило в мелководных условиях, а значительные мощности толщ возникали в результате погружения дна водоемов.

А. Л. Яншин (1961) высказал предположение, что в первые этапы существования солеродные бассейны достигали глубины

500—600 м. Однако вследствие большой скорости накопления солей они быстро обмелевали, и отложение верхних горизонтов соляных толщ, содержащих калийные соли и бораты, видимо, происходило уже на незначительной глубине.

Железо

Новейшие исследования, суммированные Д. П. Сердюченко и А. В. Глебовым (1964), подтвердили высказанные ранее представления о важной роли гумусовых веществ при формировании осадочных железорудных месторождений. Они не только служат для Fe^{3+} защитными коллоидами, но, вступая с ним в химические соединения, образуют железоорганические комплексы, стойкие к осаждающему воздействию электролитов и гидролитическому влиянию воды. В присутствии свободного кислорода ионы Fe^{2+} легко окисляются и выпадают в осадок. Гумусовые вещества в этом случае способствуют сохранению железа в растворенном состоянии, вступая во взаимодействие со свободным кислородом, и превращают таким путем окислительную среду в нейтральную или даже восстановительную. Кроме этого, они могут образовывать и с Fe^{2+} стойкие железоорганические комплексы. При низком кислородном потенциале закисное железо мигрирует в растворе в виде бикарбоната.

Исследования рассматриваемого периода подтвердили и развили идеи, высказанные Л. В. Пустоваловым еще в 1933 г., когда он по аутигенным минералам воссоздал геохимическую обстановку формирования железных руд осадочного происхождения. В этом отношении прежде всего следует упомянуть работы Г. И. Теодоровича (1956). Этот исследователь в широком диапазоне окислительно-восстановительного потенциала градуирует физико-химические условия накопления осадочных железных руд щелочностью—кислотностью среды (главным образом рН 8—6). По данным Г. И. Теодоровича, в связи с миграцией и наложением фаций нередко встречаются сидерит-хлоритовые, хлорит-глауконитовые, глауконит-фосфатные и другие сложные по составу минеральные образования. Кроме того, в результате диagenетических процессов одни и те же минералы в составе рудных тел часто имеют несколько генераций.

Большое внимание исследователей привлек вопрос о месте отложения в бассейнах руд железа, алюминия и марганца по отношению к береговой линии. Анализ данных показал, что в условиях морской седиментации раньше (ближе к берегам) отлагаются из растворов, поступающих с континента, соединения алюминия или алюминия совместно с железом, далее накапливаются руды железа и затем марганца.

Алюмоносные растворы должны быть наиболее кислые. Соединения железа выпадают при рН 4—6, а руды марганца при

pH 8—9 (Кротов, 1959 и др.). Экспериментальные исследования Л. П. Листовой (1961) и др. показали, что в морской воде совместное осаждение гидроокислов железа и марганца возможно при pH растворов 6,7 ($Eh = +420$ мв) и более высоких. В кислой среде обязательно должно происходить их разделение, так как железо уже способно осаждаться, а марганец еще полностью удерживается в растворе. Однако окисление железа растворенным в воде кислородом происходит в несколько раз быстрее, чем окисление марганца в тех же условиях. Поэтому интервал pH—Eh для разделения железа и марганца значительно растягивается. Д. П. Сердюченко и А. В. Глебов предполагают, что имеются все основания предполагать, что в интервале pH от 6,7 до 8,5 и соответственно Eh от +420 до +330 мв, которые довольно обычны для природных морских вод, происходит разделение железа и марганца. В результате, из поступающих растворов с суши относительно быстро выпадают железосодержащие минералы, образуя железорудные месторождения. В это же время марганец, находящийся в растворах, переносится течениями на другие участки бассейна, где и формируются собственно марганцевые месторождения. В особых гидродинамических условиях и кислородного режима могут накапливаться совместно также руды железа и марганца.

Совместно с железом и марганцем в рудах могут накапливаться и различные другие элементы, в том числе и редкие, изучению которых в последнее время было уделено очень большое внимание. Для бурых железняков особенно характерны примеси ванадия, мышьяка, фосфора, редких земель, бора, иногда германия, хрома, никеля, кобальта. Особый интерес представляет ассоциация: железо+фосфор+мышьяк+редкие земли+бор, которая характерна для осадочного процесса и сохраняется в метаморфических месторождениях (Сердюченко и др., 1963).

Редкие земли, очевидно, преимущественно накапливаются путем сорбции гидроокислами железа, а в фосфатных железняках они образуют и самостоятельные минералы, отвечающие по составу фосфатам. Бор, кроме сорбции и осаждения, в ряде случаев, по-видимому, накапливается в железорудных осадках в виде железистого борацита (эрикаита). Как бор, так и редкие земли в условиях метаморфизма осадочных железных руд десорбируются, в решетку магнетита не входят, а образуют самостоятельные минералы — людовит, ортит, бастнезит и др.

Рассматривая вопрос об источнике железа, большинство исследователей приходит к выводу, что одним из главных источников железа для осадочных месторождений служат более древние (часто метаморфизованные) железорудные месторождения, подвергшиеся механическому разрушению и поверхностному выветриванию. Дополнительным источником служат ультраосновные и основные породы, а также осадочные и метаморфические образо-

ния. Железо может переноситься к месту отложения руд в виде твердых частиц (обломки железосодержащих минералов и пород, оолиты), коллоидных растворов или суспензий, а также в виде гуматов и других комплексных соединений с органическим веществом. Некоторые исследователи считают возможным накопление железа за счет эксгальационно-осадочных процессов. Однако, как правильно отмечают Д. П. Сердюченко и А. В. Глебов (1964), вулканическая деятельность может способствовать повышению концентрации железа в морской воде, но она не может считаться достаточным и решающим фактором формирования промышленных месторождений. По данным названных авторов, главными условиями формирования железорудных месторождений являются — размыв береговых железистых пород, благоприятные физико-химические и палеогеографические условия (заливы, лагуны), положительные и отрицательные перемещения береговой линии, затрудненный обмен с открытым морем, обилие органики и др.

Железорудные экзогенные месторождения, даже связанные между собой сходством условий залегания, составом примесей и общностью происхождения, все же существенно отличаются по ряду признаков. Эти отличия возникают в процессе образования рассматриваемых месторождений, либо в результате последующих преобразований. Отличительные черты этих месторождений достаточно отчетливы, что позволяет выделить среди них ряд типов. Л. В. Пустоваловым (1957) предложена генетическая классификация экзогенных железорудных месторождений, в которой выделены следующие типы:

- I. Обломочные железные руды:
 - мелкообломочные (песчаные);
 - грубообломочные (конгломератовые, валунчатые и пр.).
- II. Остаточные железные руды (руды коры выветривания):
 - латеритовые,
 - железные шляпы.
- III. Собственно осадочные железные руды:
 - континентальные, морские.
- IV. Докембрийские метаморфизованные осадочные руды.
- V. Катагенетические и инфильтрационные (метасоматические) железные руды.
- VI. Железистые руды предположительно осадочного или спорного происхождения.

Рассмотренная классификация строится в основном на геологических предпосылках, и автор рассматривает железные руды экзогенного происхождения как естественную составную часть литосферы и результат проявления тех или иных геологических процессов, обусловивших возникновение и концентрацию железосодержащих минералов в ходе образования осадка и формирования осадочной породы, либо перегруппировки минерального

вещества в связи с формированием коры выветривания, либо проявления инфильтрационных процессов.

Наложение метаморфических процессов приводит к изменению минерального состава руд, но первично-осадочное происхождение руд при этом не маскируется.

Д. П. Сердюченко и А. В. Глебов выделяют среди метаморфогенных железорудных месторождений следующие четыре типа:

1. Магнетит-гематитовые кварциты (роговики, джеспилиты) приурочены к удаленным от берегов мелководным зонам древних почти пресных морей. Месторождения сформировались в условиях раздельного ритмического осаждения коллоидов гидроокисей железа и кремния, происходившего в протерозойскую эпоху. К этому типу относятся главные промышленные железорудные месторождения Кривого Рога, Курско-Белгородской зоны, Карело-Кульского района, Малого Хингана и др.

2. Оолитовые гематито-шамозито-сидеритовые железняки. Месторождения сформировались в прибрежно-мелководных частях морей в условиях повторяющихся трансгрессивно-регрессивных движений с размывом береговых железистых пород и латеритных кор выветривания. Известны в Южной Африке и Северной Америке.

3. Магнетито-силикатные и магнетито-карбонатные массивные или слоистые руды, согласно залегающие и подчиненные толщам архейских парагнейсов и парасланцев, среди которых значительную роль играют и карбонатные породы. Пластовые и линзообразные железорудные месторождения архейского возраста, развитые в Сибири, Центральной Швеции и северо-восточных штатах США, часто сопровождающиеся боровой (людвигитовой) и редкоземельной минерализацией.

4. Полигенные массивные магнетитовые, магнетито-кварцевые или магнетито-апатитовые руды, образующие крупные или относительно небольшие штоки и залежи, проявленные в Шведской Лапландии.

Из упомянутых типов месторождений особо важное значение имеет первый из них. Наиболее важные научные данные по этому типу были получены при изучении месторождений Курской магнитной аномалии. В настоящее время установлено, что железорудный бассейн КМА вытягивается в северо-западном направлении на 850 км, при ширине около 200 км и прослеживается на территориях Воронежской, Луганской, Харьковской, Белгородской, Сумской, Курской, Орловской, Калужской, Брянской и Смоленской областей. Исследования М. И. Калганова (1955), Д. П. Калгунина, Н. А. Плаксенко (1963), Д. П. Сердюченко (1958), М. С. Точилина (1963) и др. показывают, что метаморфические породы, слагающие железорудный бассейн КМА, расчленяются на три толщи: верхнюю — сланцево-известковую, сред-

нюю — железистых кварцитов, нижнюю — сланцево-гнейсовую с мигматитами. Метаморфический комплекс несогласно перекрывается песчано-глинистыми и карбонатными отложениями палеозойского и мезо-кайнозойского возраста мощностью от 28 до 700 м. Железистые кварциты вместе с другими интенсивно смяты в крутые складки, осложненные разрывными нарушениями. Пласты железистых кварцитов имеют крутое падение и прослежены на значительную глубину.

На Курскую магнитную аномалию в настоящее время приходится свыше 40% разведанных запасов железных руд в нашей стране, а перспективные их запасы практически безграничны. В этом новом громадном железорудном бассейне уже работают мощные рудники — Лебединский, Михайловский, имени Губкина. В ближайшее время войдут в строй новые рудники.

Железистые кварциты представляют собой осадки докембрийского моря, подвергшиеся в протерозойское время глубокому метаморфизму. Осадки эти состояли из чередующихся слоев коллоидальной гидроокиси железа и кремнезема. Помимо хемогенных гематито-магнетитовых, доломит-магнетитовых, куммингтонит-магнетит-сидеритовых и других кварцитов и связанных с ними богатых остаточных руд, значительное распространение в отдельных районах имеют кластогенные железистые кварциты и обломочные богатые мартит (магнетит)-железнослюдковые руды (Плаксенко, 1963). Кроме кластогенных, М. С. Точилин (1963) все остальные джеспилиты генетически связывает с подводным вулканизмом, причем магнетит и гематит рассматривает как первичные вулканогенные образования, или частично относит железистые кварциты к тонкослоистым метасоматам, образовавшимся в результате замещения амфиболовых и пироксеновых прослоев магнетитов (в условиях амфиболитовой и граунулитовой фаций метаморфизма).

Другие исследователи представления М. С. Точилина не разделяют.

Для уточнения существующих мнений об условиях формирования метаморфогенных месторождений важное значение имеют результаты детального изучения Криворожских железорудных месторождений.

В начале рассматриваемого периода Д. С. Коржинским (1955), И. И. Гинзбургом, Г. А. Соколовым и М. И. Калгановым была высказана гипотеза об образовании богатых руд Кривого Рога в связи с древней корой выветривания и соответственно упомянутые авторы поддержали представление, высказанное ранее А. Л. Загянским.

Эта гипотеза заинтересовала многих исследователей и до самого последнего времени активно обсуждается в печати. Я. Н. Беллевцев, (1957, 1966) и его последователи и ученики склонны считать, что в Кривом Роге проявилась лишь современная кора вы-

ветривания. Богатые же мартитовые руды обязаны своим происхождением глубинным метасоматическим и метаморфическим процессам, сопровождавшимся перемещением железа и пропорциональным ему выносом кремнезема. В противовес этому мнению, А. Т. Джездалов (1958, 1964) и руководимые им рудничные геологи Кривого Рога подтверждают и развивают гипотезу А. Л. Загянского, Д. С. Коржинского и др. об образовании богатых мартитовых руд этого бассейна в связи с проявлением трещинных кор выветривания. Представители обоих направлений выступили в печати с взаимной острой критикой и пока обе точки зрения учитываются геологами, изучающими метаморфогенные железорудные месторождения. Тем не менее факт нахождения богатых железных руд на глубине до 800 и более метров при постепенном уменьшении площадей рудных тел не позволяет относить их к образованиям современной коры выветривания. Кроме того, полное отсутствие каких бы то ни было переходов рыхлых мартитовых руд в плотные мартит-магнетитовые или карбонат-магнетитовые руды позволяет считать более обоснованной гипотезу, высказанную Д. С. Коржинским и др. Что же касается генезиса железистых кварцитов и джеспилитов Кривого Рога, Курской магнитной аномалии и других районов, то большинство исследователей придерживается представления об их осадочно-метаморфогенном происхождении. Но при этом дискутируется вопрос об источнике железа, необходимом для образования этих месторождений. Не останавливаясь на характеристике месторождений второго типа, не получивших распространения в СССР, рассмотрим некоторые особенности осадочно-метаморфогенных месторождений с магнетитовой, людвиговитовой и редкоземельной минерализацией, развитых в докембрийских осадочно-метаморфических толщах и относящихся к третьему типу. В этих месторождениях бор и редкие земли первоначально были связаны с железными рудами и сопровождающими их углисто-битуминозными, глинисто-кварцевыми и известково-магнезиальными карбонатными толщами. Первоначальное накопление железа, бора и редких земель происходило, по-видимому, в древних морских мелководно-прибрежных или лагуннообразных бассейнах в результате соосаждения с гидроокислами алюминия и железа, а также при сорбционных процессах в железистых, глинистых, фосфатных и органических (углистобитуминозных) коллоидальных образованиях и сопровождалось в специфической фациальной обстановке относительно большими концентрациями фтора и углекислоты (карбонатов), нередко — сульфидов (Сердюченко, Глебов, Павлов, 1963).

Некоторые метаморфизованные первично-осадочные месторождения железа отличаются повышенной германиеносностью (Максимов, 1958; Момджи, Григорьев, 1959). Примером могут служить пласты железных и марганцевых руд среди красноцвет-

ных известняков фамена. Маломощные линзообразные тела этих руд встречаются и в кремнисто-карбонатных породах, подстилающих красноцветную толщу. Железные руды сложены магнетитом, гематитом, мартитом, хлоритом (тюрингитом), сидеритом. В зоне окисления наряду с мартитом развиваются гидроокислы железа. Главными минералами марганцевых руд являются гаусманит, браунит, якобит и тефроит. Между железными и марганцевыми рудами существуют непрерывные переходы, в связи с чем встречаются железо-марганцевые руды. Месторождения являются первично-осадочными, впоследствии подвергшиеся региональному метаморфизму. В подстилающих рудный горизонт кремнисто-известковых и перекрывающих кремнисто-карбонатных и глинистых отложениях германий отсутствует. Наибольшие его концентрации наблюдаются в магнетитовых рудах, меньше его в гематитовых, а в марганцевых рудах он отсутствует. Повышенные концентрации германия в магнетите вызваны изоморфизмом двухвалентного германия с двухвалентным железом, на что указывает и чрезвычайная близость их ионных радиусов (Ge^{2+} 0,73 Å, Fe^{2+} 0,74 Å). Из этих данных вытекает, что германий накапливался в осадочном процессе.

Проведенные в последние пятнадцать лет поисково-разведочные и научно-исследовательские работы обеспечили создание в нашей стране исключительно мощной сырьевой базы черной металлургии. Уже выявленные балансовые запасы железных руд составляют около 110 млрд. т (Соловкин, 1967). При этом более 90% запасов сконцентрировано в месторождениях метаморфогенного и осадочного происхождения. В результате железорудная промышленность полностью обеспечена запасами железных руд на длительный срок и созданы исключительно благоприятные перспективы дальнейшего значительного расширения рудной базы в уже освоенных Восточных районах страны, на долю которых в настоящее время приходится не менее 25% всех разведанных запасов.

Большой объем проведенных геологоразведочных работ на железные руды в последнее время позволил собрать новый исключительно ценный фактический материал, который значительно расширяет наши представления о генезисе характеризующих месторождений.

Приведенные выше сведения об условиях формирования экзогенных и метаморфогенных железорудных месторождений показывают, что в рассматриваемый период учение об упомянутых месторождениях достигло значительного прогресса. Особенно большие успехи получены при изучении комплексных железорудно-редкометалльных месторождений, которые были выявлены в последние годы, а также метаморфогенных и инфильтрационных месторождений Кривого Рога и Курской магнитной аномалии.

в СССР, так же как в ряде зарубежных стран, в последнее время много внимания уделяется изучению условий образования и закономерностей размещения экзогенных урановых месторождений. Различными исследователями предложено много вариантов классификации этих месторождений. В большей их части в качестве классификационных признаков приняты специфические особенности вещественного состава урансодержащих пород; часто учитывается и генезис оруденения. Я. Д. Готман (1955) экзогенные месторождения делит на две группы: 1) морского происхождения, 2) озерного и болотного происхождения. В каждой из этих групп выделяются по три типа месторождений в зависимости от состава вмещающих пород. Д. Я. Суражский (1956) и В. С. Домарев (1956), помимо осадочных, дополнительно выделяют группу месторождений выветривания, а Д. Я. Суражский, кроме того, еще различает осадочно-метаморфогенные месторождения в известняках и углисто-кремнистых сланцах. В. Г. Мелков и Л. Ч. Пухальский (1957) экзогенные урановые месторождения разделяют на: 1) осадочные морского, а также озерного, речного и болотного происхождения и 2) прочие месторождения выветривания (инсоляционные, карстовые).

А. Г. Бетехтин (1959) предлагает различать: 1) россыпные месторождения, 2) сингенетические (собственно осадочные) в различных породах, 3) эпигенетические месторождения (инфильтрационные) и 4) метаморфизованные месторождения.

А. И. Семенов (1959) в основу своей классификации положил не только разделение экзогенных месторождений по их происхождению на осадочные и выветривания, но также в качестве классификационных признаков предложил геотектонические условия образования месторождений, формации вмещающих осадочных пород, их литолого-фациальные особенности и характерные ассоциации элементов.

В. Н. Котляр (1961) среди экзогенных месторождений различает: 1) месторождения выветривания, 2) осадочные в различных породах и 3) метаморфогенные. Близкой группировки придерживается А. А. Якжин (1961). Я. Д. Готман и И. Н. Зубрев (1963) расширили более раннюю классификацию Я. Д. Готмана, выделив среди осадочных месторождений подтип временных потоков и дополнив классификацию группой осадочно-метаморфогенных месторождений. В. И. Данчев и др. (1966) большое значение придают стадийности формирования руд на фоне стадий развития вмещающих пород различного состава и в общей сложности выделили четыре генетические группы месторождений; 1) выветривания, 2) осадочно-гидрогенные, 3) собственно осадочные и 4) осадочно-метаморфогенные.

Наиболее подробная классификация экзогенных урановых месторождений предложена М. Н. Альтгаузенем (1966), который все эти месторождения делит на: 1) сингенетические и 2) эпигенетические, но при этом он попытался отразить не только основные особенности состава руд и урансодержащих пород, а также учел тектонические и палеогеографические условия накопления рудовмещающих толщ и процессы, определявшие формирование руд. Он показал, что для сингенетических месторождений характерна строгая зависимость оруденения от напластования пород (осадков) и закономерностей их распространения по площади. В этих месторождениях отсутствуют: рудные тела, секущие напластование, и зависимость оруденения от постседиментационных структур и зоны окисления (выветривания).

Среди группы эпигенетических месторождений М. Н. Альтгаузен выделил четыре класса.

1. Месторождения гипергенного перераспределения сингенетически накопленного урана. Локализация оруденения наблюдается в зависимости от границы между выветрелыми и неветрелыми породами, при наличии повышенного содержания урана в значительном удалении от зоны выветривания.

2. Месторождения позднедиагенетического (метаморфического) перераспределения урана. Локализация оруденения проявлена в зависимости от постседиментационных структур (пликативных и дизъюнктивных), при наличии повышенных содержаний урана в удалении от этих структур.

3. Месторождения инфильтрационного привноса урана экзогенными растворами в ранее безрудные породы. Отчетлива зависимость оруденения от пористости пород, а также дизъюнктивных и пликтивных нарушений при отсутствии повышенного содержания во вмещающих породах в стороне от рудных тел.

4. Месторождения инфильтрационного привноса урана эндогенными растворами в ранее безрудные породы. Те же условия локализации руд, что и в инфильтрационных месторождениях, но при наличии специфических элементов спутников (As, Hg).

М. Н. Альтгаузен рассматривает 13 типов урансодержащих пород, включая угли, песчаники и глины угленосных свит, а также фосфориты, глины с фосфатными рыбными остатками и пирит-мельниковитом, бокситы и другие породы. Он приводит характерные для них примеси металлов и показывает тектонические и палеогеографические условия накопления урансодержащих осадков. М. Н. Альтгаузен правильно подчеркнул трудность отличия инфильтрационных и низкотемпературных гидротермальных месторождений в ряде случаев.

Из краткого обзора опубликованных классификаций экзогенных урановых месторождений видно, что они совершенство-

вались и развивались в соответствии с ростом и углублением работ по детальному изучению этих месторождений.

Советские геологи уделили большое внимание изучению различных типов экзогенных месторождений урановых руд и особенно инфильтрационных. Благодаря целеустремленным исследованиям большого коллектива советских геологов-производственников и научных работников, с учетом данных, полученных геологами США, изучавшими урановые месторождения плато Колорадо, и геологов других стран, высказаны новые представления об условиях формирования экзогенных урановых месторождений.

А. И. Перельман и др. (1965) показали, что при образовании этих месторождений важное значение приобретают участки зоны гипергенеза, именуемые геохимическими барьерами, на которых резко уменьшается миграционная способность элементов. К этим барьерам приурочены значительные концентрации элементов. Для формирования эпигенетических урановых месторождений особо важное значение имеют геохимические барьеры в водоносных горизонтах — восстановительный сероводородный, испарительный и адсорбционный. Такие барьеры особое значение приобретают в участках выклинивания зон пластового окисления, где формируются промышленные инфильтрационные урановые месторождения. Они именуется Е. А. Головиным (Перельман и др., 1965) «месторождениями кислородного пластового окисления» и образуются в областях аридного климата, где грунтовые воды содержат уран в количествах $(1-5) \cdot 10^{-5}$ г/л. Вмещающими породами для данных месторождений являются терригенные толщи, в которых песчаные или гравелито-конгломератовые прослойки чередуются с глинисто-алевритовыми. Эти месторождения не подчиняются строгому стратиграфическому контролю, но во вмещающих породах наблюдается обязательное чередование водоупорных и водопроницаемых пород. В них проявлена эпигенетическая зональность, выраженная сменой зоны поверхностного окисления зоной пластового окисления, в свою очередь сменяющейся зоной развития черногого уранового оруденения и далее сероцветных безрудных пород.

Эта зональность строго отвечает гидрохимической зональности, которая по направлению движения пластовых вод выражается последовательным проявлением в направлении сверху вниз: 1) зоны кислородных пластовых вод с высоким положительным значением Eh; 2) зоны уранового оруденения; 3) безрудные зоны распространения сероцветных песчаников.

Зона уранового оруденения в однородных песчаниках имеет в вертикальном сечении серповидно-удлиненную форму, отражающую направление движения пластовых вод. В неоднородных толщах, где движение рудоносных растворов затруднено, форма рудных тел значительно осложняется. Урановая минера-

лизация представлена в основном регенерированными урановыми чернями с незначительным развитием урановой смолки и коффинита. Вместе с этими минералами нередко отмечаются скопления пирита в виде мельчайших кристалликов и шаровидных выделений (М. Ф. Каширцева). Часть урана концентрируется в углистом органическом веществе и в фосфатизированных обломках. Рудоносные породы местами обогащены также селеном в виде самородного селена и селенсодержащего пирита.

Работы последнего времени показывают, что условия формирования инфильтрационных месторождений на выклинивании зон пластового окисления в пределах восстановительных геохимических барьеров в значительной степени связаны с течением микробиологических явлений. Важные исследования в этом направлении были выполнены А. К. Лисициным и Э. Г. Кузнецовой (1967). Ими были изучены геохимические особенности подземных вод и распределение в них микрофлоры в зоне пластового окисления в месте локализации урановых руд в восстановительном геохимическом барьере и расположенных ниже его сероцветных породах. При этом было обнаружено, что по направлению движения подземных вод вместе с изменениями гидрогеохимической среды происходит изменение состава и активности отдельных физиологических групп микроорганизмов. Наиболее разнообразная и активная микрофлора развита вблизи выклинивания пластовой лимонитизации, т. е. на границе кислородных и бескислородных вод, в пределах которой и накапливается урановое оруденение. Анализ полученных данных позволил авторам заключить, что наблюдаемое снижение Eh до низких отрицательных значений в месте выклинивания зоны пластового окисления обусловлено главным образом деятельностью анаэробных бактерий, в основном образующих водород и сероводород. Соответственно, можно предполагать, что микроорганизмы играют важную роль в концентрации урана в пределах восстановительного геохимического барьера. Урановые месторождения, локализующиеся на границе зоны пластового окисления, возникают и в угленосных отложениях. По данным А. А. Ковалева, урановое оруденение локализуется как в углях и углистых алевролитах, так и во вмещающих песчаниках.

Согласно М. Н. Альтгаузену (1966), часть уранового оруденения в углях возникла в результате сингенетического обогащения осадка ураном. В стадии сингенеза уран находился в рассеянном состоянии в осадке и был сорбирован глинистым и органическим веществами. Позднее происходило его перераспределение и формирование рудных линз. По представлениям М. Н. Альтгаузена, выделяются также урановые месторождения в углях, возникшие в связи с постседиментационными процессами. Первичное накопление урана и в этом случае происходило в краевых частях областей осадконакопления.

Согласно данным З. А. Некрасовой (1957), подобные месторождения имеют чисто инфильтрационное происхождение, и их образование обусловлено поступлением ураноносных растворов в уже сформировавшуюся угленосную толщу после складчатости и тектонических нарушений. Наряду с детальным изучением урановых месторождений, развитых в местах выклинивания зон пластового окисления и связанных с угленосными отложениями, углубленные исследования были проведены на месторождениях этого металла, залегающих в нефтеносных карбонатных породах, а также в глинах, обогащенных костями рыб. В отношении условия образования урановых месторождений в нефтеносных карбонатных породах были высказаны две гипотезы. Согласно одной из них (Готман, 1955; Данчев и др., 1959; Ченцов, 1959), эти месторождения представляют собой сингенетические образования. Представители другой гипотезы (Смирнов и Щербаков, 1957; Германов и др., 1959; Холодов, 1961) высказали мнение об эпигенетическом образовании этих месторождений.

Сторонники сингенетического происхождения месторождений рассматривают их образование в тесной связи со стадиями формирования вмещающих пород. Основными аргументами этой гипотезы авторы ее выдвигают наблюдаемый стратиграфический контроль оруденения, залегание его среди прибрежных морских отложений, приуроченность рудных залежей к зонам повышенных мощностей и соответственно пониженным участкам морского дна. Они указывают также на своеобразные текстурные и структурные особенности рудоносных пород, пластово-линзообразную форму рудных тел и др.

Исследователи, придерживающиеся представления об эпигенетическом происхождении оруденения, показали, что все упомянутые факты находят свое объяснение и с позиции эпигенетического происхождения месторождений. Основными аргументами в пользу эпигенетического инфильтрационного происхождения рассматриваемых месторождений они считают отсутствие фациального контроля оруденения и отчетливо наблюдающуюся эпигенетическую зональность.

Главной особенностью рассматриваемых месторождений является их приуроченность к разрушающимся нефтеносным структурам, что является важным поисковым признаком.

Месторождения урана в глинах с фосфатными рыбными остатками и пирит-мельниковитом имеют бесспорно осадочное происхождение, хотя, по данным М. Н. Альтгаузена, концентрированное скопление урана, возможно, происходило в стадию раннего диагенеза. Подобные месторождения в основном формировались на платформе. Морские осадки, составной частью которых являются ураноносные пласты, залегают на нижележащих отложениях трансгрессивно и иногда с небольшим угловым несогласием.

Приведем краткую характеристику этих месторождений, используя данные, опубликованные М. Н. Альтгаузенем (1966). Рудовмещающая толща слагается в основном глинами, содержащими в различных частях разреза кости и чешуи рыб, а также сульфиды железа. Наибольшая их концентрация наблюдается в собственно рудном пласте, представленном черными глинами, которые залегают на размытых темно-серых глинах и перекрываются зеленовато-серыми глинами. Ураноносный пласт представляет собой более или менее монолитное тело с небольшим количеством тонких безрудных глин. Наряду с этим встречаются прослой, состоящие практически целиком из ураноносных костей и чешуй рыб, чередующиеся с прослоями, сложенными пирит-мельниковитом. Промышленные рудные залежи представляют собой участки пласта с наиболее монолитным строением и минимальными мощностями прослоев безрудных глин. Руда состоит примерно наполовину из глинистого вещества и на 30% из пирит-мельниковита. Уран входит в состав обломков скелетов, плавников и чешуй рыб, сложенных карбонат-фторапатитом.

Наряду с ураном во фторапатите находится повышенное содержание различных редких земель. Незначительная часть урана связана с обуглившимися растительными остатками.

В составе пирит-мельниковита находится незначительное количество Mo, Co, Ni, Zn, Cu, Pb и As. Изредка в ассоциации с сульфидами железа появляется молибденит, урановая смолка, бравоит, скуттерудит и саффорит. По поводу генезиса характеризуемых месторождений высказывались различные представления.

В настоящее время у большинства исследователей складывается мнение, что непосредственным источником урана являются морские воды с нормальной соленостью и обычным для них содержанием урана. М. Н. Альтгаузен предполагает, что в морских водах находились повышенные концентрации урана, которые были вызваны вековым накоплением этого элемента и, возможно, за счет поступления в бассейн обогащенных им гидротермальных растворов. Накопление урана в костях происходило после гибели рыб, когда они находились во взвешенном состоянии. Причины гибели рыб одновременно на значительной площади пока не нашли достаточно достоверного объяснения.

Не останавливаясь на рассмотрении других типов экзогенных урановых месторождений, имеющих меньшее практическое значение, из изложенного нетрудно видеть, что проведенные исследования по изучению этих месторождений раскрыли новую страницу не только в выяснении условий образования их, но и вообще в науке об осадочных и гипергенных месторождениях металлов.

Бокситы

Изучение геологии бокситовых месторождений в последнее десятилетие проводилось в соответствии с решением специального Всесоюзного совещания по генезису бокситов, проходившему в 1955 г. В резолюции этого совещания отмечалась необходимость изучения следующих основных вопросов: 1) анализ климатических условий образования бокситов и составление палеоклиматических карт с указанием зон возможного накопления бокситовых залежей, 2) экспериментальные исследования по изучению систем равновесий окислов алюминия, кремния, железа и титана в водных растворах, в условиях, близких к природным, а также изучение процессов миграции этих компонентов в коре выветривания, 3) изучение стадий диагенеза, эпигенеза и метаморфизма бокситов, 4) изучение бокситоносных фаций, в особенности связанных с угленосными отложениями, 5) изучение детальной стратиграфии, литологии и геохимии бокситов, 6) нахождение надежных признаков для различия обломочных и диагенетических округлых образований «бобовин, галек и песчинок», 7) разработка номенклатуры и классификации бокситов и бокситовых пород.

Основные результаты проведенных исследований обобщены Г. И. Бушинским (1966). Ниже приведем их краткую характеристику.

Исследования геологов СССР и зарубежных стран показали, что бокситы возникают на суше во влажных областях тропического и субтропического поясов. В различные геологические эпохи эти условия были характерны для всей территории нашей страны, поэтому составление палеоклиматических карт приобретает исключительно большое практическое значение. В соответствии с этим значительный интерес представила карта областей древнего бокситонакопления, составленная в 1958 г. Г. И. Бушинским, а также палеоклиматические карты Н. М. Страхова (1963). Экспериментальные исследования проводились в направлении выяснения причин нахождения повышенного содержания в бокситах титана и некоторых других металлов и воссоздания состава растворов, способствующих извлечению глинозема и других компонентов из различных пород и минералов.

А. П. Виноградов показал, что высокая концентрация титана в некоторых бокситах вызвана не совместным его химическим осаждением с алюминием, а десиликацией породы обычными водными растворами при pH около 7.

Проведенные эксперименты по выяснению значения органических кислот в извлечении Al_2O_3 , SiO_2 и Fe_2O_3 из нефелина, хлорита и каолинита показали, что их роль в общем незначительна и резко меньше, чем у серной кислоты. Только из нефе-

лина органические кислоты извлекают ощутимое количество кремнезема и частью глинозема. М. Н. Яковлева показала, что лишь серная кислота 0,1 N и 0,01 N (рН 1,3—2,8) извлекала больше глинозема, чем кремнезема, при других же ее концентрациях извлекался преимущественно кремнезем. Экспериментальные исследования И. И. Гинзбурга и Р. М. Яшиной (1962), выполненные с применением электролиза, также показали преимущественное извлечение кремнезема по сравнению с глиноземом. Важные результаты в последнее время получены при выяснении эпигенетических изменений бокситов. В понятие о выветривании бокситов вкладывается довольно широкий смысл. Дело в том, что латеритные бокситы сами по себе представляют продукт относительно интенсивного выветривания. Однако и они подвергаются дальнейшему выветриванию, которое вызывается промыванием породы теплой бескислородной дождевой водой с рН 4—7, в результате чего возникают глиноземные латериты. Но при изменении гидрохимического и гидродинамического режима поверхностных или близповерхностных вод происходит изменение и типа выветривания. Там, где глиноземные латериты или осадочные бокситы промывались кремнеземистыми водами, происходило разложение глинистых минералов и образование глин. Это явление известно под названием силификации, силикации, а так же глинизации бокситов. Оно широко распространено в месторождениях тропического и умеренного поясов.

Изучение бокситоносных фаций затруднено, так как переходы бокситов в другие, одновременно с ними отлагающиеся слои, редки или плохо прослеживаются. В Тихвинских месторождениях удается проследить фациальные изменения бокситовых пластов от вершины балок вниз по долине. При этом в бокситах происходит убывание окиси железа, увеличение содержания органического вещества, а при переходе в глинистую фацию — постепенный переход боксита в глину озерно-болотного происхождения. То же наблюдается в Сибири и Казахстане. В геосинклинальных девонских отложениях многие исследователи наблюдали непрерывные переходы красных континентальных бокситов кверху в серые лагунно-морские бокситы и выше — в битуминозные мергели и известняки.

Детальное изучение стратиграфии и литологии пород, обнажающихся на площадях развития бокситов СССР, показал их разнообразный возраст, начиная со среднепротерозойского времени (Патомское нагорье) вплоть до мезозоя. Изучение геохимических особенностей бокситов, проведенное Г. И. Бушинским (1958_{1,2}), Н. А. Лисицкой и М. В. Пастуховой (1963, 1964), привело к выявлению признаков обломочных и диагенетических структур разного возраста. По мнению В. П. Петрова (1962, 1967), в профилях глиноземных латеритов следует различать

два бокситовых горизонта: нижний — аллювиальный и верхний — элювиально-делювиальный. В бокситах нижнего горизонта сохранилась структура материнской породы, а в верхнем можно видеть эту же структуру, но в обломочках и гальках бокситов.

Многими исследователями установлено, что бокситы образуются в результате выноса кремнезема из материнских пород в процессе их выветривания и диагенеза. Следовательно, геохимия образования бокситов прежде всего требует выяснения геохимии кремния. Такие элементы-гидролизаты, как Al, Fe, Ti, Ga, Sc, Nb, Ta и др., в процессе бокситообразования накапливаются пассивно. Согласно А. Б. Ронову и А. А. Мигдасову (1965), а также Г. И. Бушинскому (1966), эти элементы накапливаются в бокситах в 3—5 раз больше по сравнению с их содержанием в материнской породе.

Проведенные за последнее время исследования бокситов дали возможность уточнить ранее сложившиеся представления и высказать некоторые новые гипотезы об условиях их образования.

Б. П. Кротов (1958) пришел к выводу о вторичном делювиальном происхождении бокситов Соколовского месторождения. По его данным, эти бокситы состоят из обломков латеритной коры выветривания, механически перенесенных в лога и озера, где они подверглись диагенетическим процессам. В дальнейшем было установлено на ряде месторождений, что многие бокситовые пласты состоят в значительной мере из обломков боксита и глины, которые после переотложения, т. е. в осадке, подверглись бокситизации путем выноса кремнезема (Бушинский, 1958; Лисицина и Пастухова, 1963 и др.). В противовес ранее высказанным представлениям С. Ф. Малявкина было показано, что дальность переноса бокситового материала по силикатным породам в общем небольшая и не превышает нескольких сотен метров или немногих километров.

В настоящее время накопился новый материал, позволяющий критически рассмотреть гипотезу, высказанную ранее А. Д. Архангельским. Согласно так называемой химической части этой гипотезы, глинозем из коры выветривания переносится в растворенном виде в морские или озерные водоемы, где накапливались промышленные бокситовые залежи. Допускалась очень большая дальность переноса материала (глинозема) реками. Однако, как уже отмечалось, бокситы сложены обломочными частицами и представляют не химический, а механический осадок. Экспериментальные исследования в различных лабораториях и наблюдения природных гидрохимических явлений указывают на крайне низкую химическую подвижность окислов алюминия, железа и титана. Дальность переноса бокситового материала из коры выветривания в промышленные бокситовые залежи оказалась совсем небольшой. Эти данные заставили отказаться от

химической гипотезы образования бокситов. Однако основные закономерности размещения бокситовых месторождений и некоторые стороны их генезиса, установленные А. Д. Архангельским, подтверждены и уточнены многими советскими геологами. В частности, показана приуроченность бокситов к конкретным стратиграфическим горизонтам определенных районов и возникновение их в эпохи влажного и теплого (или жаркого) климата. Установлена связь бокситов с корой выветривания, с угленосными толщами, с известняками и с перерывами в осадко-накоплении.

Вулканогенно-осадочная теория развивалась А. К. Гладковским (1960) и И. Н. Ушатинским (1964). Они высказали идею о возможности эндогенного происхождения первичных бокситов Урала, впоследствии переотложенных в девонское время. К. К. Зеленов (1960, 1965) на основании своих исследований и работ С. И. Набоко (1963), Г. М. Власова и М. М. Василевского (1964), Р. Н. Ткаченко и др. высказал предположение, что наземные вулканы во время извержения образуют конусы, сложенные пористыми накоплениями шлака и пепла. От вулканического очага из недр земли идут горячие эксталяции H_2S , SO_2 , Cl и других летучих компонентов, которые проникают по пористым породам вулканических конусов вверх. На своем пути они встречаются с нисходящими водами атмосферного происхождения и растворяются в них с образованием сильных кислот, которые воздействуют на породы (вулканические) и переводят в раствор почти весь алюминий, железо и ряд других компонентов, оставляя на месте кремнезем и титан.

Согласно Г. И. Бушинскому (1966), вынос алюминия из пород действительно огромен, но бокситы при этом не образуются, так как приносимый тонкий материал рассеивается в море.

Г. И. Бушинский обращает внимание на то, что вулканогенные накопления глинозема, по К. К. Зеленову, отличаются отсутствием или весьма низким содержанием титана. В то же время бокситы геосинклинальных областей, в отличие от вулканогенных осадков глинозема, не содержат первичных сульфатов и характеризуются таким же содержанием титана, как многие латеритные или латеритно-осадочные бокситы.

Г. И. Бушинский высказывает предположение о возможности нахождения бокситов среди осадочных пород вблизи массивов вторичных кварцитов.

В. В. Гончаров еще 30 лет назад выдвинул гипотезу о возможности возникновения бокситов путем удаления кремнезема в процессе диагенеза осадка. Подобные явления наблюдались многими геологами (Кротов, 1958; Лисицына, Пастухова, 1963, 1964; Бобров, 1962; Бенеславский, 1963 и др.). Диагенез осадков с выносом кремнезема, т. е. процесс, аналогичный латерит-

тизации, происходил под влиянием теплой бескремнистой проточной воды. Таким путем, по-видимому, возникли бокситы Аркалыкского района, Енисейского кряжа и других районов. Дальнейшая латеритизация особенно интенсивно протекала в осадках, отложившихся на карбонатных породах благодаря их низкой кремнистости и хорошей водопроницаемости (Плотников, Миловидов, 1962).

Большой интерес представляет изучение связи бокситов с карстом. Эта связь состоит в том, что карстовые углубления являются удобными ловушками для захоронения боксита от последующего размыва, и материал, отложенный на карстирующихся породах, больше подвергался латеритизации, чем силикации (Бушинский, 1964, 1966).

Переходя к вопросу о классификации бокситовых месторождений, следует указать, что, так же как и в предыдущий период, большинство исследователей разделяет их по геологическим условиям образования на два типа — платформенные и геосинклинальные. С. В. Левченко (1967) дополнительно выделяет еще приплатформенный, или глыбовый, тип.

По представлениям этого исследователя, бокситовые месторождения приплатформенного типа формируются на склонах платформ, в зонах их перехода в слабоскладчатую или глыбовоскладчатую область, либо в окраинной части миогеосинклиналей. Кора выветривания в этом случае развивается в пределах платформы, снос ее продуктов осуществляется реками, и отложение их происходит в дельтах рек, лагунах и прибрежных участках моря. В результате в таких условиях возникают месторождения трех подтипов: дельтовые, лагунные и прибрежные. Во всех этих подтипах месторождений бокситовые рудные тела подстилаются и перекрываются морскими карбонатными осадками, всегда залегаая в основании трансгрессирующего цикла. Геосинклинальный тип бокситовых месторождений С. В. Левченко разделяет на две разновидности: глыбовую и антиклинорную. Первая по условиям образования и структурно-геологической позиции близка к приплатформенному типу месторождений. Благоприятными геотектоническими элементами для формирования бокситовых месторождений являются срединные массивы, куполовидные и глыбовые поднятия. Антиклинорная разновидность геосинклинального типа бокситовых месторождений приурочена к типичным складчатым областям. Обычно эти месторождения формируются в условиях лагун или в прибрежной обстановке, в районах рифовых сооружений, в пределах геоантиклиналей за счет переотложения продуктов кор выветривания, формирующихся на островных участках суши, или за счет латеритизации пепловых образований, отлагающихся, по А. С. Калугину, на рифовых островах. С. В. Левченко указывает, что рудные тела месторождений этого подтипа, во всех слу-

чаяя подстилаясь и перекрываясь карбонатными отложениями, переходят в вулканогенно-осадочные пачки пород.

Не останавливаясь на других представлениях об условиях образования и размещения бокситовых месторождений, обсуждающихся на страницах печати, из приведенного обзора можно сделать вывод, что интенсивное изучение геологии и геохимии бокситов, проведенное в последнее десятилетие в нашей стране по строго намеченному плану, оказалось очень эффективным, и учение о бокситах достигло значительных успехов.

Фосфориты

В результате проведения крупных научно-исследовательских и геологоразведочных работ за последние годы расширены перспективы известных и выявлены новые месторождения первичных фосфоритов в отложениях различного возраста — в Закарпатье, Закавказье, Таджикистане, в Центральном Казахстане, на Сибирской платформе, в Кузнецком Алатау, в Горной Шории, на Бателевском кряже, в Восточном Саяне, Прибайкалье, в отдельных пунктах Дальнего Востока и т. д. Выявлены также вторичные остаточно-метасоматические фосфориты на Западном склоне Урала, в Красноярском крае, Иркутской области. Большое значение имеют осадочно-метаморфогенные месторождения фосфоритов в Чулактау и других районах Каратау. Общие запасы фосфатного сырья, включая хибинские апатиты, достигли в СССР 10 млрд. т, из которых более 4 млрд. т разведаны по высокому категориям. Советские геологи обеспечили запасами фосфатного сырья все возрастающие потребности нашей страны на значительный срок. Эти значительные успехи достигнуты благодаря усилиям большого коллектива геологов-производственников, министерств геологии и химической промышленности, научных работников Государственного института горно-химического сырья (ГИХС), ВСЕГЕИ, ГИН АН СССР, ИГЕМ АН СССР и других организаций.

Согласно Б. М. Гиммельфарбу (1958, 1962), среди экзогенных фосфоритовых месторождений следует различать морские и континентальные. Первые из них в свою очередь разделяются на месторождения, сформированные в геосинклиналях и на платформах. В промышленном отношении особо важное значение имеют фосфоритовые месторождения, возникшие в геосинклинальных условиях. Руды их характеризуются высоким содержанием фосфора и залегают в форме пластообразных тел, нередко неоднократно повторяющихся в разрезе. Более 45 таких месторождений развиты в Каратаусском бассейне Южного Казахстана.

Месторождения фосфоритов, сформировавшихся на платформах, установлены во многих районах, но обычно слагающие

их фосфоритовые слои обладают небольшой мощностью и характеризуются стяжениями и конкрециями фосфоритов. Качество сырья хуже, чем у геосинклинальных фосфоритов за счет полуторных окислов.

Континентальные фосфориты образуются обычно в результате выветривания слабо фосфатизированных карбонатных пород либо убогих фосфоритов. При этом происходит вынос карбонатного материала и обогащение породы фосфатом. В последующие стадии выветривания имеет место растворение и перетложение фосфатов, сопровождающееся метасоматическими процессами, и возникают генетически новые образования, установленные в ряде районов Сибири (Егорова, 1960; Красильникова, Смирнов, 1958; Сухарина, Сажин, Спандерашвили, 1961 и др.).

Осадочно-метаморфогенные месторождения фосфоритов Каратау возникли в связи с контактовым, либо региональным метаморфизмом фосфоритов осадочного происхождения. Фосфорит переходит в апатит и подвергается другим изменениям. В последнее время важное значение приобрели исследования Н. М. Страхова (1960, 1963) в направлении выяснения климатических условий фосфатонакопления, что стало возможным в связи с появлением палеоклиматических карт. Н. М. Страхов показал, что фосфориты накапливались не только в морях гумидных областей, как это представлялось ранее, но также не менее часто в морских водоемах аридных зон. В частности, в аридной полосе возникли фосфоритовые месторождения западного склона Южного Урала. В условиях аридных водоемов нижнего палеозоя в начальные моменты их осолонения сформировались и фосфориты Каратау. Анализ имеющихся данных показывает, что в гумидных зонах образуются относительно менее качественные желваковые фосфориты с рудами, характеризующимися содержанием 18—28% P_2O_5 .

Месторождения гумидных зон формировались преимущественно в платформенных условиях. В противоположность этому месторождения аридных зон возникали не только в платформах, но главным образом в геосинклиналях, и здесь формировались пластовые высокопроцентные фосфориты оолитового, микрозернистого или зернистого типов, причем фосфориты здесь возникали сразу же в первичном седиментационном акте. Н. М. Страхов полагает, что формирование фосфоритов по схеме, предложенной А. В. Казаковым, происходит при образовании фосфоритов в геосинклиналях. В противовес этому во внутриконтинентальных морях на платформах фосфориты возникают не за счет подтока глубинных вод из океанов, а за счет концентрации пятиоксида фосфора в глубоких горизонтах самих платформенных морей.

Н. С. Шатский (1955) высказал предположение о возможности возникновения фосфатных руд вулканического происхожде-

ния, которые преимущественно концентрируются в удаленных кремнистых формациях. Н. М. Страхов не поддерживает этой гипотезы и согласен с Е. Е. Захаровым (1959), показавшим, что такие формации в большинстве случаев оказываются полигенными и среди них преобладают чисто осадочные, не связанные с подводным вулканизмом. По А. И. Смирнову (1959), в составе фосфоритов Каратау, залегающих в кремнистых формациях, полностью отсутствуют какие бы то ни было признаки гидротермального происхождения, которые свидетельствовали бы о проявлении следов подводного вулканизма. Минералогия фосфатных руд детально изучалась И. Г. Ченцовым и др.

Сера

В экзогенных месторождениях заключено более 90% мировых запасов серы. Советские геологи открыли и разведали ряд эпигенетических месторождений серы в среднеазиатской сероносной провинции, геологическое строение и условия образования которых были изучены А. В. Дановым, А. С. Уклонским, В. Д. Коганом, В. В. Сахаровым, П. М. Мурзаевым, Н. П. Юшкиным, М. В. Ивановым и др.

В рассматриваемый период переоценены ранее известные месторождения серы в Поволжье (Алексеевское, Водинское), образующие крупную сероносную провинцию, детально описанную А. И. Отрешко. Большое значение для развития серной промышленности в нашей стране имеет открытие, разведка и передача в эксплуатацию крупнейших месторождений серы на территории Украины, среди которых особый интерес представляют месторождения Роздоивское, Язовское, Сорокское, Немировское, Жидочевское и др. Эти месторождения детально изучены и описаны И. И. Алексеенко, Л. Н. Кудриным, А. Г. Трухачевым и др.

В последние годы Г. М. Власовым, Д. В. Саватеевым и другими были изучены также вулканогенные месторождения серы на Камчатке и Курильских островах.

Исследования, проведенные А. С. Соколовым (1959) и другими, показывают, что главнейшие месторождения серы СССР и других стран приурочиваются к следующим пяти стратиграфическим горизонтам: 1) пермским отложениям, 2) верхнеюрским образованиям, 3) отложениям палеогена, 4) миоцену и 5) плиоценовым слоям. При этом максимумы концентрации серы совпадают с максимумами распространения сульфатов в породах и находятся они вблизи мест развития нефтеносных пород. Большинство месторождений серы сформировались в карбонатных породах, особенно среди тех их горизонтов, которые залегают среди сульфатных слоев. Фациальные условия формирования подобных образований указывают, что они являются хемогенными осадками лагунно-морских бассейнов повышенной

солености. Развитие подобных фаций обычно завершало собой эпохи регрессий, предшествовавшие активным движениям земной коры.

Сделанная А. С. Соколовым попытка выяснить геотектонические условия размещения месторождений серы показывает, что они находятся как в чехле докембрийских платформ, так и в складчатых областях. В пределах отдельных провинций месторождения серы обычно размещаются вдоль границ геоструктурных зон с различно направленными движениями. Отдельные месторождения серы тяготеют к замкам антиклинальных, либо брахиантиклинальных складок с размытым сводом, вследствие этого лишенных газоносной шапки над нефтяной залежью.

Общей особенностью серных месторождений является их пространственное тяготение к нефтегазоносным районам и обычное нахождение непосредственно на месторождениях серы тех или иных видов углеводородных соединений. Большинство исследователей приходит к выводу, что сероносные складчатые сооружения сравнительно недавно, до разрушения их сводовых покрышек, являлись обычными нефтеносными структурами.

Попытка сопоставить гидрогеохимические особенности серных месторождений с зональностью подземных вод, намеченной Н. К. Игнатовичем, выделяющим верхние пресные воды, среднюю зону сульфатных вод повышенной минерализации и глубинную зону хлоридно-натриево-кальциевых рассолов, показывает, что в серных месторождениях проявлена в «основном» третья зона, часто приближающаяся к поверхности.

Основной особенностью рассолов третьей зоны, развитых в серных месторождениях и изученных Н. В. Тагеевой (1955), является их высокая минерализация (свыше 100—200) и повышенное содержание щелочных земель — не только кальция и магния, но также стронция, бария, радия, что вызвано бессульфидностью рассолов. Наряду с этим наблюдается высокая концентрация брома и особенно иода, а также повышенное содержание бора, фтора и кремнекислоты, низкой величины отношения эквивалентных показателей содержания натрия и хлора $Na:Cl = 0,53—0,80$ и высокая величина отношения хлоридов кальция и магния ($CaCl_2:MgCl_2 = 2—3,7$), повышенная примесь тяжелой воды, содержащей дейтерий.

Соглашаясь с А. С. Уклонским, можно считать, что такие воды, обладающие щелочной реакцией и нередко высокой температурой, весьма сходны с ювенильными гидротермальными растворами и подобно последним могут нести в своем составе различные металлы. На это, в частности, указывает А. И. Германов (1959, 1966), подчеркивающий обогащение глубинных вод железом, цинком, свинцом, медью и другими металлами.

Эти рассолы являются изолированными от других типов вод. А. С. Соколов предполагает, что при формировании серных ме-

сторождений нарушается изолированность характеризуемых рассолов, они смешиваются с сульфатными водами и между ними протекают сложные геохимические реакции. При наличии в растворах органического вещества происходит энергичная редукция сульфатного иона. В условиях устойчивой восстановительной среды сульфатная, крайне окисленная сера переходит в состояние максимальной восстановительности — в сульфидную серу. При отсутствии в рассолах углеводородов сероводород в зоне смешения не образуется. Рассмотренные гидрогеохимические условия зоны смешения хлоридных щелочноземельно-натриевых рассолов с сульфатными инфильтрационными водами в присутствии углеводородов очевидно, и являются благоприятными условиями формирования серных месторождений в том случае, если смешение происходит на относительно небольших глубинах, не превышающих первые сотни метров. Такие условия создаются лучше всего в зонах разрушенных антиклиналей.

В зоне смешения указанных вод находящиеся в растворе рассолов щелочноземельные металлы при встрече с сульфатами сразу же выпадают в осадок. Так, образуются нередко находящиеся в серных рудах целестины, бариты, вторичные гипсы. Потеря рассолами щелочных свойств ведет к выпадению кремнезема. Образующийся в результате редукции сульфата сероводород высаживается в виде сульфидов. В этих условиях может выделяться фтор в виде флюорита, который, например, известен в известняках Гаурдакского серного месторождения. Наблюдаемые в рассматриваемых месторождениях минералы, сопровождающие самородную серу, подтверждают правильность высказанных соображений об условиях формирования этих месторождений в связи с инфильтрационными метасоматическими процессами, протекающими при участии сульфатредуцирующих микроорганизмов. Этой гипотезы в настоящее время придерживаются многие исследователи и прежде всего М. В. Иванов, П. М. Татарinov, И. И. Алексеенко, А. И. Отрешко, Н. П. Юшкин и др.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

В рассматриваемый период большие успехи достигнуты в разработке и углублении методов изучения рудных месторождений и особенно в разработке научных основ их поисков. Кроме развития и совершенствования традиционных геологических и минералогических методов изучения рудных месторождений, широким фронтом развернулись геохимические исследования. С учетом идей В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана геохимические исследования проводились в самых различных направлениях. В частности, широко развернулось изотопное изучение различных элементов, входящих в состав руд. В институтах Академии

наук ГЕОХИ и ИГЕМ и в ряде других научно-исследовательских организаций стали проводиться исследования по определению изотопных отношений S^{32}/S^{34} . Начало изучения изотопного состава серы относится к 1949 г., когда А. В. Трофимов, а также Тод с соавторами (Thode et al.) независимо один от другого обнаружили значительные различия в изотопном составе серы природных образцов. В качестве эталона изотопных соотношений используется сера метеоритного троилита, в которой величина $S^{32}/S^{34} = 22,22$. К настоящему времени опубликовано уже несколько тысяч изотопных анализов серы. Из них значительная часть определений выполнена в СССР. В этом направлении ряд работ был опубликован А. П. Виноградовым и В. А. Гриненко (1964, 1966), а так же В. И. Виноградовым (1963, 1964). Было установлено, что сульфатная сера содержится в гидротермальном рудообразующем растворе на протяжении всего времени его существования. Сульфидная сера частью образуется за счет сульфатной, частью за счет серы, приближающейся к метеоритной, либо обогащенной тяжелым изотопом. Имеющиеся данные по изотопному составу серы гидротермальных месторождений приводят к выводу о широком участии в гидротермальном рудном процессе биогенной серы осадочных пород.

В последнее время в практике геологических исследований все большее значение приобретают исследования, направленные на определение абсолютного возраста пород с помощью калий-аргонового и стронциевого методов, а также радиоактивных минералов с помощью уран-свинцового метода. В результате этих исследований удастся более точно определить возраст оруденения, что имеет важное значение для выяснения глубины формирования верхних частей рудных жил от поверхности, существовавшей в процессе оруденения, и в конечном итоге для разработки геологических поисковых критериев на скрытое оруденение.

Широкому развитию геохронологических исследований в значительной степени способствовали А. И. Тугаринов и Г. Д. Афанасьев, который возглавлял Комиссию Отделения наук о Земле по определению абсолютного возраста.

В деле развития научных основ поисков рудных месторождений, включая скрытые, либо слабо проявленные на дневной поверхности, наряду с геологическими исследованиями важное значение приобрели исследования первичных и вторичных ореолов рассеяния на основе металлометрической съемки.

Теоретические основы этих исследований были разработаны И. И. Гинзбургом (1957). В дальнейшем был опубликован ряд работ, посвященных проявлениям первичных ореолов рассеяния в месторождениях различных типов и возможности их использования при глубинных поисках эндогенных месторождений. В этом отношении следует упомянуть работы А. П. Со-

лова (1963), Е. М. Янишевского и др. (1963), И. И. Гинзбурга, Г. И. Россмана и др. (1966) и т. д.

Базируясь на упомянутых работах, советские геологи широко начали применять в своей практической деятельности данные по первичным и вторичным (в меньшей мере) ореолам рассеяния. Наиболее широкое применение геохимические ореолы сразу же получили при поисках рудных месторождений. Первичные ореолы по своим размерам значительно превосходят рудные тела. Вертикальная протяженность этих ореолов над крутопадающими рудными телами нередко составляет несколько десятков метров. Форма и размеры первичных ореолов рассеяния в значительной мере определяются структурными особенностями месторождений и физико-механическими свойствами вмещающих пород. Первичные ореолы создаются определенными элементами, которые над крутопадающими рудными телами обычно распространяются в определенной последовательности, обуславливающей зональное их распределение. Избирательная концентрация на определенных гипсометрических уровнях над и вокруг рудных тел определенных элементов позволяет отличать надрудные части ореолов от подрудных и оценивать глубину эрозионного среза рудного тела. Контроль первичных ореолов рассеяния тектоническими элементами и имеющиеся данные по зональности распределения элементов в пределах ореолов позволяют уверенно направлять глубинные поиски, которые уже привели к важным открытиям в ряде рудных районов.

Важное практическое значение приобрели гидрохимические методы поисков, а также биогеохимические, основанные на изучении золы, получаемой при сжигании растений, усваивающих рудные элементы, характерные для рудных залежей.

Советские геологи много внимания уделяют разработке и уточнению поисковых критериев на скрытые рудные тела и месторождения. Эта сложная проблема нашла отражение в трудах А. В. Королева, В. М. Крейтера, В. И. Красникова и В. И. Смирнова, посвященных анализу геологических основ поисков рудных месторождений. В 1958 г. под руководством О. Д. Левицкого было проведено Всесоюзное совещание геологов, посвященное поискам скрытого оруденения. В. В. Аристов (1964) провел специальное исследование для решения этой проблемы на примере Восточного Забайкалья и других рудоносных провинций. Все геологи, участвовавшие в уточнении и разработке поисковых критериев на скрытое оруденение, пришли к единому мнению, что на перспективных площадях глубинные поиски могут успешно проводиться лишь при условии детального изучения геологического строения и истории геологического развития этих площадей. Проводящееся в нашей стране среднemasштабное геологическое картирование,

а также охват главнейших провинций металлогеническими исследованиями, сопровождаемыми составлением прогнозно-металлогенических карт, приближают нас к тому времени, когда на всей огромной территории нашей страны мы будем иметь возможность выделять перспективные площади для глубинных поисков.

Успешному выполнению этих важных работ и эффективному проведению поисков скрытого оруденения способствуют накопленные советскими геологами знания в области геологического строения рудных и неметаллических месторождений различных типов, находящихся в различной геологической обстановке. Особенно важное значение приобретает при решении рассматриваемой сложной проблемы использование полученных к настоящему времени данных по особенностям локализации эндогенного и экзогенного оруденения в различных структурных этажах и ярусах. На основе глубоких знаний по истории геологического развития изучаемой территории, а также учета данных по условиям формирования и размещения различных минеральных образований прогноз скрытого оруденения приобретает глубокое научное обоснование, и нас несомненно ожидают новые важные открытия.

В характеризуемый период значительные успехи были достигнуты в деле совершенствования самой методики поисков и разведки рудных и неметаллических месторождений. Работы В. М. Крейтера (1960, 1961) еще более глубоко раскрыли значение степени изменчивости морфологии рудных тел и содержания полезных компонентов как основных показателей для классификации рудных месторождений при выборе систем разведки, определения плотности разведочной сети и установления необходимых соотношений между горными и буровыми работами для выявления запасов той или иной категории. Этот подход был положен в основу составления инструкции по подсчету запасов полезных ископаемых принятой Всесоюзной комиссией по запасам. В деле совершенствования методики разведки, опробования, подсчета запасов и оценки рудных месторождений важное значение имели исследования В. И. Смирнова, К. Л. Пожарицкого, Д. А. Зенкова, В. И. Красникова, Д. Я. Суражского, А. А. Якжина, П. А. Шехтмана, Н. А. Никифорова, П. Л. Калистова, А. П. Прокофьева, А. Б. Каждана, Ю. А. Шихина, В. И. Бирюкова, И. З. Самонова, Н. Н. Трофимова и др.

Широко внедряются в геологоразведочные работы математические методы. Применяются методы обработки данных с использованием электронных вычислительных машин.

Важный вклад в разработку геолого-математических методов внес А. Б. Вистелиус, который является одним из основоположников нового научного направления — математической геологии — отрасли геологии, использующей математические мето-

ды для решений проблемы парагенезиса, классификации месторождений и др. В настоящее время А. Б. Вистелиус и руководимые им сотрудники работают над применением математических методов к решению вопросов стратиграфии, петрографии, минералогии и геохимии. В этом же направлении опубликован ряд важных работ Д. А. Родионовым и его сотрудниками, где показано, что наиболее распространенной теоретической функцией распределения содержаний компонентов в горных породах и породообразующих минералах является логнормальная функция. Логарифмически нормальное распределение содержаний характерно для таких элементов, основная масса которых сосредоточена в одном минерале. Такое распределение обычно связано с наличием наложенных процессов, выражающихся в существенном замещении данного минерала другим, или в образовании независимой, более поздней генерацией того же минерала. Д. А. Родионов разработал статистический метод выбора информативной и не информативной комбинаций признаков при сравнении геологических объектов. Этот метод может быть успешно использован при выделении комплекса поисковых признаков на рудные и неметаллические ископаемые, по которым можно уверенно отличать перспективные в отношении рудоности геологические образования от бесперспективных.

Возможности отнесения тех или иных разведываемых объектов к известным типам промышленных рудных месторождений по многочисленным признакам и их сочетаниям с использованием электронных вычислительных машин являются предметом исследований, проводимых коллективом геологов под руководством Е. Е. Захарова и Б. В. Кристального. Над решением подобного рода проблемы работают Ф. П. Кренделев и А. Н. Дмитриев; известны работы П. А. Шехтмана и др.

Используя парные коэффициенты корреляции распространения минералов в месторождениях и разработав программу для их вычисления на электронно-счетных машинах, Р. М. Константинов и руководимые им сотрудники попытались разработать классификацию рудных месторождений по минеральному составу.

А. В. Канцель с группой сотрудников разрабатывает проблему типизации и прогнозирования рудных месторождений, на основе сопоставления количественных мер пространственной изменчивости и взаимосвязи содержаний химических элементов в рудах. В качестве этих мер, называемых авторами математическими характеристиками руд, используются числовые характеристики и функции, построенные с помощью методов теории вероятностей и статистики, формальной логики, теории дифференциальных уравнений, методов кибернетической диагностики и др. Все указанные математические характеристики отражают особенности процесса рудообразования, несут генетическую

информацию и вместе с геолого-структурными и геохимическими признаками могут быть использованы для целей классификации месторождений и научной оценки их перспектив. В близком направлении работает А. А. Дерягин. А. Ф. Вольфсон делает попытку на основе применения теории информации, термодинамики необратимых процессов и статистической термодинамики создать теоретическую основу для объяснения зональности рудных полей и месторождений с позиций точных наук.

М. А. Марголин, З. Д. Нигурецкий и др. провели исследование по применению аппарата случайных функций для определения параметров месторождений и рудных тел при подсчете запасов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ПЯТОМУ ПЕРИОДУ

Народы СССР в рассматриваемый период под руководством КПСС направили свои усилия на создание материально-технической базы коммунизма. Перед отечественными геологами встали новые сложные задачи по обеспечению развивающейся невиданными темпами социалистической промышленности разнообразным минеральным сырьем, включая такие новые виды, как редкие, сверхредкие и радиоактивные металлы, потребность в которых возникла в связи с технической революцией и появившимися новыми отраслями атомной и другой промышленности. Все это вызвало необходимость огромного разворота поисковых, геологоразведочных и комплексных научно-исследовательских работ. В изучение геологии и геохимии рудных и неметаллических месторождений включились десятки тысяч геологов производственников и научных работников. В результате этих работ был получен новый фактический материал, учет которого дал возможность не только существенно пополнить или даже изменить наши представления по ряду кардинальных вопросов рудообразования, но и создать новые научные направления в учении о рудных месторождениях.

1. Развивая ранее начатые исследования, В. А. Николаев разработал представление о системах с особым компонентом s и показал, что отделение летучих от остывающих магматических расплавов может происходить тремя способами. И. А. Островский установил, что растворимость воды в силикатном расплаве достигает 10 и более процентов, вместо предполагавшихся ранее 8%. Д. С. Коржинский, развивая учение о метасоматической зональности, показал, что в гидротермально измененных породах она обусловлена воздействием опережающей волны кислотных компонентов, находящихся в потоке постмагматических растворов. Широкую известность приобрела гипотеза А. П. Виноградова о возможной аналогии процессов выплавления вещества земной коры из мантии механизму зонного плавления.

ления. Г. Л. Пospelовым выдвинута идея тепловых флюидопроводников, к которым, в частности, он отнес предрудные интрузивные массивы. Ф. К. Шипулин отстаивает представление о важной роли в накоплении сульфидов — сульфатных вадозных вод. Ф. В. Чухров, А. А. Сауков и др. большое значение придать роли вадозных вод в формировании различных типов эндогенных месторождений от киноварных до шеелитовых. Г. И. Князев и Р. С. Сейфулин пришли к выводу о возможности формирования эндогенных сульфидных месторождений по меньшей мере тремя путями. С. И. Набоко показала, что гидротермальные системы в вулканических областях имеют глубинное происхождение. Используя полученные новые данные геологических наблюдений и геофизических исследований, установленные вариации соотношений изотопов серы в рудах, А. В. Королев и В. И. Смирнов показали, что в зону рудоотложения по глубинным разломам часть металлических соединений может поступать из подкорковых глубин.

2. Значительный охват территории СССР геологическим картированием от 1:25 000 до 1:200 000 (более 54%) и полученный небывалый объем информации по изучению геологии разнообразных рудных и неметаллических месторождений способствовали широкому развитию металлогенических исследований в рудоносных провинциях и районах. При этих исследованиях анализируется закономерная приуроченность месторождений к определенным этапам развития рудоносных территорий, которая дополняется представлениями о различном характере развития металлогенических зон. Основой металлогенических построений становятся исследования, направленные на выяснение истории геологического развития рудоносных провинций, позволяющие типизировать эти территории и учитывать закономерности распределения в их пределах рудоносных формаций. Дискутируется вопрос о правомерности отождествления этапов рудообразования с этапами развития геосинклиналей. Этому представлению, впервые высказанному Ю. А. Билибиным в предыдущий период, противопоставляется высказанное также в предыдущем периоде, но несколько раньше, мнение С. С. Смирнова о развитии эндогенного оруденения к концу тектоно-магматических циклов. Е. А. Радкевич и другие исследователи большое значение придают изучению металлогении активизированных платформ, несущих важные промышленные месторождения. В последнее время при металлогенических исследованиях важная роль принадлежит выяснению положения эндогенного и экзогенного оруденения в различных структурных этажах и ярусах и выяснению закономерностей размещения неметаллических ископаемых и россыпных месторождений.

3. Широко развернувшиеся работы по изучению структур рудных полей эндогенных месторождений, а также выяснению

структурно-геологических позиций рудных районов и полей привели к выявлению важных закономерностей. Установлено, что формирование контактово-метасоматического и гидротермального оруденения происходит под надрудными толщами, и верхняя часть рудных тел возникает на глубине от 500 до 1500, реже 2000 м.

Разработано учение о структурно-геологической позиции рудных районов и полей по отношению к крупным разрывным нарушениям, складчатым сооружениям, интрузивным, экструзивным массивам и жерлам древних вулканов, благоприятным пачкам пород слоистых толщ и оптимальному глубинному уровню. Большой объем работ проведен по выяснению структурных условий локализации месторождений и рудных тел. Ф. И. Вольфсон, Л. И. Лукин и др. показали, что эти условия оказываются существенно разными, и оруденение имеет различный вертикальный размах, в зависимости от того, в образованиях какого структурного этажа и яруса оно сформировалось. Максимальным вертикальным размахом оруденения обладают месторождения, залегающие в образованиях нижнего структурного этажа.

4. Базируясь на теоретических положениях В. И. Вернадского и Е. С. Федорова, широко развернулись минералогические исследования. Г. П. Барсановым и др. разработана новая кристаллохимическая классификация минералов. Успешно развивается кристаллохимическое направление, возглавляемое Н. В. Беловым, а также изучение изоморфизма химических элементов в минералах. Получило развитие новое научное направление — минералогическая кристаллография. Много важных исследований проведено по выяснению взаимосвязи минералов, возникающих в различных условиях и их оптических свойств, состава минералов и их физических свойств, морфологии кристаллов минералов, возникающих в различных генетических условиях и т. д. Широко развернулись барометрические исследования температур формирования минералов методом гомогенизации и декрепитации, а также рентгенометрические методы для определения вещества минерала. Новый кристалломорфологический подход плодотворно использован Д. П. Григорьевым в развиваемом им новом направлении генетической минералогии — отношения минералов. Глубоко изучена минералогия всех генетических типов месторождений, а также зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений. Важные исследования проведены в области региональной минералогии. В период 1957—1966 гг. открыто 158 новых минералов.

5. Важные новые данные получены при изучении титаномагнетитовых магматических месторождений, связанных с гипербазитами и щелочными интрузиями, среди которых И. И. Малышев выделил шесть генетических типов. Показано важное зна-

чение явлений метаморфизма в истории формирования титаномагнетитовых месторождений Урала. Новые исследования хромитовых месторождений, проведенные Н. В. Павловым и др., не только подтвердили их гистеромагматическое происхождение, но и показали, что хромиты размещаются в рудоносных зонах и являются эпигенетическими к основной массе пород, слагающих рудоносные массивы. Крупные исследования проведены в области изучения ликвационных медно-никелевых месторождений. М. Н. Годлевский подтвердил более ранний вывод В. К. Котульского об образовании главной массы медно-никелевых руд путем предварительной ликвации сульфидного расплава на больших глубинах. Н. А. Елисеев высказал представление о гидротермальном происхождении Мончегорского медно-никелевого месторождения. Г. И. Горбунов на примере изучения месторождений Печенги указал на длительность и сложность процесса оруденения, протекавшего в три этапа: магматический (главный), пневматолито-гидротермальный и гидротермальный. После формирования руды подверглись дополнительному метаморфизму. Много ценных сведений было также получено рядом авторов по структурным условиям локализации медно-никелевого оруденения, соотношения его с дайками интрузивных пород и габбро-пегматитами, наличие платиновых минералов в рудах и т. д.

Нефелиновые сиениты, несущие редкометальное оруденение магматического происхождения, представлены агпайтовыми разновидностями. Среди этих месторождений К. А. Власов и др. выделяют: циркониевые, редкоземельно-тантало-ниобиевые, тантало-ниобиевые, редкоземельно-стронциевые и галиевые.

6. В пегматитовых провинциях преобладают пегматитовые месторождения, возникшие в один тектоно-магматический этап. А. И. Гинзбургом и Г. Г. Родионовым пегматиты разделены на четыре группы по глубине их формирования: 1) редкоземельные — формируются на глубине 8—9 км, 2) мусковитовые — 5—8 км, 3) редкометальные — 3,5—5 км и 4) миароловые — 3 км. По данным упомянутых авторов и других исследователей, все отмеченные типы пегматитов возникли из остаточных расплавов. В. Д. Никитин отстаивает представление, что пегматиты формируются путем перекристаллизации и преобразования в твердом состоянии магматических и метаморфических пород в связи с воздействием постмагматических растворов. Отдельными геологами пегматиты относятся к метаморфическим образованиям.

7. Среди карбонатитов, связанных с комплексом ультраосновных щелочных пород, выделяются: 1) кальцитовые, концентрирующие ниобий, тантал, цирконий и титан и 2) анкеритовые, либо сидеритовые, с которыми связаны редкие земли, стронций, барий и различные халькофильные элементы. Карбонатитовые

комплексы контролируются зонами глубинных разломов, распадающимися как платформы, так и складчатые области.

8. Среди скарнов, согласно В. А. Жарикову и др., выделяют: 1) магнезиальные скарны магматической стадии, 2) магнезиальные скарны послемагматической стадии, 3) известковые скарны. Первые из них возникают на фронте магматического замещения («гранитизации») доломитов. Вторые несут флогопит, магнетит и боратовое оруденение и образуются на значительных глубинах при температуре 450—600°. Проведенные исследования подтвердили основной вывод Д. С. Коржинского об образовании известковых скарнов, несущих магнетитовое, шеелитовое, боратовое и различное сульфидное оруденение биметасоматическим путем. Доказано, что эти скарны часто возникают в зонах пластического сечения.

Согласно Н. В. Павлову, в образовании скарново-магнетитовых руд, связанных с трапповым магматизмом, важное значение имели галогенные фации, представленные пластами каменной соли в основании платформенных отложений. Состав магномagnetита в этих месторождениях закономерно меняется от магнезиоферрита в близповерхностных месторождениях до магнетита в более глубинных, что вызвано влиянием окислительно-восстановительного потенциала среды. Важные данные получены в результате детального изучения магнетитовых месторождений, связанных с известковыми скарнами — на примере многих месторождений показано, что отложение скарнов и магнетитовых руд протекает в несколько стадий минерализации.

9. Изучение высокотемпературных месторождений редких металлов, связанных с грейзенами, показало, что они находятся в генетической связи с посторогенными интрузиями. Размещение различных редких элементов, накапливающихся в грейзенах, подчиняется определенному зональному ряду — минералы тантала и ниобия чаще локализируются в пределах метасоматически измененных интрузивов, в то время как бериллий в основном концентрируется во вмещающих породах. Наряду с нахождением редких элементов в грейзенах, возникающих по алюмосиликатным породам, где обычно развит берилл в ассоциации с вольфрамитом, широкое развитие получили также месторождения, связанные с грейзенизацией карбонатных пород. В апокарбонатных грейзенах получили развитие флюорит и ассоциирующие с ним минералы бериллия (преимущественно фенакит и хризоберилл). Грейзены, ассоциирующие со скарнами, обычно обогащены магнетитом, а из бериллиевых минералов в их составе вывывается гельвин и бериллийсодержащий везувиан.

10. В рассматриваемый период на страницах геологической печати широко дискутируется вопрос о генетической связи низкотемпературного гидротермального оруденения с эффузивными, экструзивными и интрузивными образованиями. В. Н. Кот-

ляр, М. А. Фаворская и др. приходят к выводу, что большинство месторождений, залегающих среди эффузивов, находятся с ними в парагенетической связи, но в отдельных случаях намечается и генетическая связь оруденения с эффузивами. Геологи, придерживающиеся представления об эксгальационно-осадочном происхождении медноколчеданных месторождений, приходят к выводу о формировании этих месторождений в процессе эффузивной деятельности. Однако это представление нашло неоднозначное возражение в печати. Большинство геологов, изучающих рудные месторождения, и петрографов, развивая идеи, ранее высказанные С. С. Смирновым, приходят к выводу о генетической связи оруденения с глубинным магматическим очагом, что находит подтверждение в новейших экспериментальных исследованиях Н. И. Хитарова. Это мнение подтверждается также данными абсолютного возраста различных изверженных пород и руд, которые указывают, что средне-низкотемпературное гидротермальное оруденение оторвано во времени от становления батолитов на 100 и более миллионов лет. Высокотемпературные минеральные ассоциации близки по возрасту к постороженным малым интрузиям, а весь процесс рудообразования может протекать несколько десятков миллионов лет.

11. Широко развернувшиеся минералого-геохимические исследования руд гидротермальных месторождений привели к выявлению важных закономерностей. А. Г. Бетехтин и его ученики широко применили анализ парагенезисов минералов с помощью геометрических методов изображения. Большое значение приобрели исследования редких элементов в минералах-носителях, кристаллизовавшихся в различные стадии минерализации, с выяснением причин изменения их содержаний в зависимости от геологических, физико-химических и геологических условий рудообразования. Интересные данные получены в связи с проведенным углубленным изучением отдельных минералов с помощью электролиза и других методов, а также проведенное изучение физических свойств сульфидов, заметно изменяющихся в зависимости от условий их образования. Важное значение имело уточнение формулировок таких понятий, как парагенетическая ассоциация, стадия минерализации и др., а также подробный анализ учения о рудных формациях.

12. В рассматриваемый период были уточнены ранее разработанные отечественными авторами геологические классификации гидротермальных месторождений и созданы две новые — С. А. Вахромеевым, уточнившим классификацию П. М. Татаринова, и В. И. Смирновым, выделившим пять типов месторождений: грейзеновый, эндотермальный, телетермальный, колчеданный и субвулканический.

13. Экспериментальные исследования Я. И. Ольшанского и В. В. Иваненко показали возможность переноса металлов в ру-

доносных растворах в виде комплексных соединений типа $MeHS$, либо тиосульфатов. Для выявления суммарной растворимости серебра в растворах эксперименты проводились с радиоактивным изотопом металла, что позволяло измерять эту растворимость γ -счетчиком без отбора пробы. В дальнейшем Б. Н. Мелентьев, В. В. Иваненко и Л. А. Памфилов провели экспериментальные исследования со сфалеритом и показали, что по мере роста рН растворов возрастает доля цинка, входящего в комплексные соединения. Р. П. Рафальским экспериментально доказано, что уран переносится растворами в шестивалентной форме, также в виде комплексных соединений. Это подтверждено Г. Б. Наумовым, по данным которого наиболее реально возможной формой переноса урана являются уранил-карбонатные ионы.

14. Детальное изучение рудных полей и месторождений в различных рудоносных провинциях показало широкое проявление зональности оруденения, обусловленной прерывистым поступлением растворов разного состава на фоне вспышек трещинообразования, что впервые было отмечено С. С. Смирновым. В ряде рудных полей выявлена также зональность отложения, впервые установленная Ю. А. Билибиным. Местами наряду с проявлением обоих упомянутых типов зональности в размещении минеральных ассоциаций выявляется зональное распределение редких и рассеянных элементов, входящих в состав одноименных минералов, сформированных в различные стадии минерализации. Зональность оруденения проявляется не только по отношению отдельных интрузивных массивов или их групп, но также и по отношению к зонам разломов, крупных одиночных разрывных нарушений, либо складчатых сооружений. Большое внимание уделено изучению региональной зональности, вызываемой различным уровнем отщепления рудоносных растворов от рудогенерирующего магматического очага, различной жесткостью основания тектонических блоков, в пределах которых развито оруденение, различной глубиной формирования и разным вертикальным размахом оруденения, а также изменчивостью нестойкости комплексных соединений, в виде которых металлы переносятся в растворах. Региональная зональность зависит также от состава продуктов магматизма, проявленных в пределах рудоносных тектонических блоков.

15. Изучение околорудноизмененных пород на разных месторождениях показало, что различные, смеющиеся друг друга зоны, распространяющиеся в обе стороны от питающего рудоносного разрыва, представляют единую метасоматическую колонку, в которой все зоны возникли близко одновременно. Минеральный же их состав меняется в зависимости от первичного состава пород, подвергнутых изменению, и в ряде случаев существенно изменяется с глубиной. В процессе околорудного изменения вмещающих пород, согласно Д. С. Коржинскому, важное значение

приобретает кислотность раствора, которая повышается при конденсации газовой фазы. Такие растворы, проходя через вмещающие породы, выщелачивают часть оснований и другие компоненты из пород, которые при понижении кислотности выпадают в составе рудных жил. Однако основная масса металлов привносится из глубин.

16. Вопрос об отделении летучих от магматического очага неоднократно освещался в литературе. Согласно Л. Н. Овчинникову, в магматическом расплаве, помимо преобладающей силикатной части, рассеяны капли электронной жидкости, состоящей из металлов или их сульфидов. Эти капли начинают коалесцировать с начала внедрения расплава и, аналогично процессу пенной флотации, выносятся газовыми пузырьками вверх, в породы кровли, а затем и в затвердевшие верхние части интрузии. Н. И. Хитаров пришел к выводу, что многократно отделяют летучую составную часть те магматические расплавы, которые находятся на больших глубинах. Учитывая несоответствие летучести галогенидов различных металлов и наблюдаемой последовательности кристаллизации рудных минералов, И. Н. Кига́й указывает, что металлические соединения, отделяющиеся от магматического очага, проходят две стадии развития. Вначале они на больших глубинах отлагались в виде галогенидов, а затем под влиянием горячих растворов они переносились в зону рудоотложения.

17. Углубилось учение о геологии отдельных металлов и созданы классификации месторождений всех главнейших металлов, основанные на геологических и частью физико-химических принципах. Опубликована серия крупных монографий и большое количество статей по геологии свинцово-цинковых, медных, золоторудных, оловорудных, вольфрамовых, молибденовых, ртутных, сурьмяных и редкометальных месторождений различных генетических типов, находящихся в разных рудоносных провинциях СССР. В сущности заново создано учение о геологии эндогенных урановых месторождений, обогатившее всю науку о рудных месторождениях. В опубликованных работах глубоко освещены условия образования и закономерности размещения этих месторождений в различной геологической обстановке.

18. Большие успехи получены в процессе изучения условий образования экзогенных рудных и неметаллических месторождений. Подробно освещены источники полезных компонентов и геохимические, тектонические и климатические условия, способствовавшие высвобождению их из коренных пород, переносу в водные бассейны и концентрации в условиях сингенеза, диагенеза, эпигенеза и катагенеза. Н. М. Страховым и др. разработаны критерии отличия экзогенных месторождений от низкотемпературных эндогенных. Ценные сведения получены в результате изучения кор выветривания, их геохимических особенностей и

минерального состава. Новые ценные сведения получены по изучению условий образования соляных месторождений, геологии и геохимии солеродных бассейнов.

19. Значительно продвинулось учение об экзогенных и метаморфогенных месторождениях железных руд и связанных с ними легирующих металлов, редких элементов, бора и др. Большинство исследователей приходит к выводу, что главным источником железа для осадочных месторождений являются древние метаморфизованные железорудные месторождения. Л. В. Пустовалов разработал новую генетическую классификацию железорудных месторождений, в которую входят шесть основных типов этих месторождений. Д. П. Сердюченко, кроме того, выделяет четыре типа метаморфогенных месторождений.

Детально рассмотрены возможные условия образования богатых руд Кривого Рога. Большинство исследователей придерживается гипотезы А. Л. Загянского и Д. С. Коржинского, объясняющих образование этих руд в процессе формирования древней коры выветривания.

20. Отечественные геологи внесли большой вклад в разработку теории формирования экзогенных урановых месторождений. Ими разработана новая классификация этих месторождений. Собрана новая важная информация по геологии урановых месторождений различных типов. Выявлен и детально изучен новый тип осадочных месторождений, в которых уран связан с фосфатными рыбными остатками. Углублена теория формирования инфильтрационных урановых месторождений и создано учение о геохимических барьерах, в пределах которых происходит накопление урановых руд.

21. Существенно развита и углублена теория формирования бокситов. Ряд исследований приводит к выводу, что бокситы возникают за счет разрушения, переноса в лога, озера и моря латеритовой коры, подвергающейся последующим диагенетическим процессам. Наряду с платформенным и геосинклинальным дополнительно выделяется приплатформенный, или глыбовый тип.

22. Среди фосфоритовых месторождений выделяются морские, имеющие главное промышленное значение, и континентальные. Н. М. Страхов показал, что фосфориты формируются в различных климатических условиях как в морях гумидных областей, так и в морских водоемах аридных зон. Наиболее важное промышленное значение имеют фосфориты, возникающие в геосинклиналях аридных зон, где они образуются по схеме, ранее предложенной А. В. Казаковым.

23. Согласно А. С. Соколову, главнейшие месторождения серы СССР и других стран приурочиваются к пяти стратиграфическим горизонтам,— пермскому, верхнеюрскому, палеогеновому, миоценовому и плиоценовому. Максимальные concentra-

ции серы совпадают с максимумами распространения сульфатов в породах, вблизи развития нефтеносных отложений.

24. Для научного обоснования поисков важное значение приобретает изучение изотопов элементов и особенно отношение S^{32}/S^{34} . Широко развернулись геохронологические исследования пород и руд, что позволяет глубже изучить соотношение оруденения с магматизмом. В широком масштабе начали применяться при поисках рудных месторождений геохимические методы исследования и, в частности, изучение первичных и вторичных ореолов рассеяния, гидрохимические, биохимические и другие методы. Сочетание геохимических со структурно-геологическими методами исследования является надежной научной основой для поисков скрытого оруденения. Важное значение для поисково-оценочных целей начинают приобретать математические методы с применением электронно-вычислительных машин.

ОСНОВНЫЕ ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ НАУКИ О РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

За годы Советской власти отечественные геологи внесли огромный вклад в науку о рудных месторождениях.

Однако, в связи с тем, что фонд легко открываемых рудных месторождений уже практически исчерпан и дальнейшие открытия будут производиться в основном за счет выявления слабо проявленных на дневной поверхности, либо скрытых на глубине месторождений, учение о рудных месторождениях должно и дальше интенсивно развиваться. При этом особо важное значение приобретает необходимость комплексного подхода к сбору научных данных по эндогенным и экзогенным процессам минералообразования и изучения истории геологического развития рудоносных площадей.

Работы научно-исследовательских групп и организаций, разрабатывающих теоретические вопросы рудообразования, должны проводиться в тесном содружестве с геологами-производственниками, чтобы иметь большую практическую направленность. Дальнейшее развитие материальной базы коммунизма требует существенного увеличения минерально-сырьевой базы. Геологоразведочные работы должны не только обеспечить сырьем всю нашу громадную промышленность, но и создать резервы для ее дальнейшего быстрого роста. Решение этой задачи должно осуществляться путем выявления новых запасов руд в районах, уже освоенных промышленностью, и путем открытия месторождений на новых площадях для создания новых горнорудных предприятий.

В пределах известных рудных полей лишь изредка удается находить новые рудные тела, обнажающиеся на дневной поверхности. Увеличение запасов руд будет достигаться в основном путем проведения большого объема горно-разведочных и буровых работ с целью вскрытия глубоких горизонтов известных рудных тел и выявления (нередко на больших глубинах) скрытых рудных тел, не выходящих на дневную поверхность. Рациональное проведение этих работ в значительной степени связано с тем, насколько широко будет внедрен достигнутый опыт структурного изучения, в комплексе с минералого-петрографическими

и геохимическими исследованиями, и насколько в развитии этого важного научного направления примут участие широкие круги рудничных геологов и разведчиков. Успешное проведение работ будет в значительной степени зависеть от дальнейшего развития крупномасштабных металлогенических исследований, дающих возможность выделять рудоносные пояса и зоны, приуроченные к определенным структурно-литологическим комплексам.

Поисковые работы должны проводиться на базе геологического картирования в масштабе 1 : 100 000 и 1 : 50 000, сопровождаемого формационным анализом осадочных и изверженных пород. С помощью геологических, геофизических и других методов должны быть намечены складчатые сооружения, основные разрывные нарушения, тектонические блоки и выявлена история их развития и движения, установлен характер проявленного в их пределах магматизма, выявлены положение и относительная жесткость фундамента, изучены петрографический и химический составы всех пород и их физико-механические свойства. Особое внимание должно быть уделено выяснению признаков минерализации и сбору материалов для установления вторичных и первичных ореолов рассеяния. Важное значение приобретает выяснение относительного и абсолютного возраста минерализации, чтобы в каждом отдельном случае иметь возможность выявить на минерализованных площадях породы надрудной толщи, под которыми происходило формирование руд.

В этой связи важным является вопрос о состоянии геолого-разведочной техники.

Наряду с широким развертыванием металлогенических исследований особое внимание должно быть также уделено дальнейшему совершенствованию и развитию исследований по изучению структур рудных полей и месторождений. Главной целевой установкой этих исследований, как известно, является вскрытие закономерностей распределения оруденения в пространстве и во времени в зависимости от тектонических элементов, состава вмещающих пород и их физико-механических свойств и других факторов, влияющих на локализацию руд в пределах рудных полей и отдельных месторождений. Советские геологи в данной области исследований, как уже отмечалось, добились значительных успехов. Однако потребность в изучении геологических структур рудных полей столь велика, что проведенные работы в количественном, а нередко и в качественном отношении еще далеко не удовлетворяют запросов геологоразведочных организаций. Необходимо в самом ближайшем будущем добиться такого положения, чтобы на всех наших рудных месторождениях, находящихся в эксплуатации или в стадии детальной разведки, были бы проведены детальные структурные исследования с применением самых передовых методов.

Для более массового распространения такого рода исследований крайне важно переиздать имеющиеся лучшие руководства по структурному анализу и опубликовать новые, в которых должен быть обобщен новейший опыт по изучению структур дольных полей и месторождений, находящихся в различной геологической обстановке и в различных структурных этажах и ярусах.

Для дальнейшего развития существующей методики изучения структур рудных месторождений крайне важно углубить исследования по выяснению генезиса трещин на основе науки о сопротивлении материалов и прикладной механики.

Исследования обязательно должны сопровождаться постановкой экспериментов по воссозданию условий образования разрывов.

Параллельно с углублением и расширением работ по структурному изучению рудных месторождений должны получить значительное развитие и минералогические исследования. Советские ученые добились исключительно больших успехов в изучении минерального состава, структур и текстур руд и парагенетических соотношений минералов в различных генетических типах месторождений. Были вскрыты многие геохимические закономерности рудообразования. Выяснилось, что на ход химических реакций, которые приводят к отложению минералов из растворов, кроме состава вмещающих пород, решающее влияние оказывают режим кислорода в окружающей среде, режим углекислоты, сероводорода и других летучих компонентов в самих растворах.

Несмотря на большие успехи в рассматриваемой области новейшие методы минералого-геохимических исследований еще не получили должного распространения, и при массовых минералогических исследованиях зачастую изучение минералов производится формально и далеко не всегда с необходимой точностью. Очень часто в наших геологических отчетах и даже печатных работах описание рудных и жильных минералов ограничивается лишь их перечнем со стандартной характеристикой общеизвестных кристаллографических и других свойств. В связи с этим при дальнейшем развитии минералого-геохимических исследований необходимо добиться, чтобы детальное изучение отдельных минералов и анализ их парагенезисов получили массовое распространение. Должны быть более широко поставлены исследования по выявлению химического состава отдельных минералов и по выявлению редких и рассеянных элементов в составе распространенных рудных минералов.

Для более эффективного проведения таких работ крайне важно шире использовать в исследованиях электронный зонд и другие новейшие методы. Определение температур образования различных минералов методом декрепитации и гомогенизации долж-

ны получить массовое распространение, что позволит путем сравнения температур формирования сходных минералов и минеральных парагенезисов уточнить сложившиеся представления об условиях рудоотложения. В этом отношении особо важное значение приобретает также дальнейшее углубленное изучение газо-жидких включений — их физико-химических свойств и химического состава, а также более широкое изучение изотопного состава серы, кислорода и других элементов, что может иметь значение при выяснении особенностей металлогении рудоносных районов.

При изучении руд месторождений различных генетических типов следует значительно расширить систематические исследования парагенезисов минералов с целью выяснения истории формирования руд. Эти исследования, естественно, должны сопровождаться детальным изучением взаимоотношений отдельных минералов, входящих в состав руд, и пространственных соотношений минеральных агрегатов, что необходимо не только для выяснения генезиса месторождений, но также и для разработки технологии комплексного использования всех ценных компонентов, входящих в состав руд.

В процессе развития минералогических исследований крайне важно расширить работы по детальному изучению оптических, химических и других свойств рудных и сопровождающих их жильных минералов, повторяющихся в различных генетических типах месторождений. Расширение подобных исследований, как нам представляется, даст возможность составить и опубликовать такие справочники, которые включали бы своего рода паспорта с полной характеристикой для отдельных главнейших минералов — их кристаллографических, оптических, химических и других специфических свойств, проявляющихся в различных генетических типах месторождений. Такие справочники несомненно будут крайне полезными для разведчиков и рудничных геологов, так как они дадут возможность вводить дополнительные минералогическо-геохимические критерии при поисках и оценке месторождений определенных металлов, представленных минеральными образованиями различных генетических типов.

Должно происходить дальнейшее расширение и углубление работ по изучению гидротермально измененных вмещающих пород, которые представляют результат химического взаимодействия рудоносных растворов с вмещающими породами. В этом направлении должны быть расширены исследования с учетом теоретических положений Д. С. Коржинского по метасоматическим процессам. Решение проблемы может быть обеспечено только путем организации комплексных исследований петрографических, минералогическо-геохимических и структурных, с точной фиксацией в каждом отдельном случае типов гидротермального околорудного изменения на фоне развивающейся тектоники.

Важной задачей таких исследований является выяснение изменений не только общего химического баланса изучаемой породы, но и ее химического состава, а также оптических свойств отдельных минералов по мере удаления от рудного тела к неизменным породам. Только такими детальными исследованиями можно решить поставленную задачу и выяснить физико-химические особенности и прежде всего Eh, pH растворов, а также баланс выноса и привноса отдельных элементов и установить в конкретных цифрах масштаб прошедших явлений.

Все выводы, которые могут быть сделаны на базе металлогенических, структурных и минералого-геохимических исследований, должны служить основой для теоретических обобщений по условиям образования рудных месторождений. Такие обобщения могут отвечать реальным условиям лишь в том случае, если они будут базироваться на законах физической химии.

Благодаря работам А. Н. Заварицкого, В. А. Николаева, А. Г. Бетехтина, Д. С. Коржинского и их учеников по созданию теории рудообразования, базирующейся на данных физической химии, достигнуты значительные успехи. Однако перед нами стоят еще очень сложные задачи в деле создания более совершенной теории. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выяснение механизма отделения и состава рудоносных растворов, причин их движения, взаимодействия их с вмещающими породами, механизма метасоматических процессов, роли фильтрационного эффекта при рудообразовании и т. д.

Необходимо шире проводить углубленные исследования по изучению источника руд металлов. Применяя методы изотопного анализа, различные физические методы определения абсолютного возраста пород и руд, в комплексе с разнообразными геологическими методами, должны быть проведены исследования по выяснению количественного соотношения металлов и других элементов, заимствованных в магматическом источнике и мобилизованных из вмещающих пород в связи с процессами метаморфизма, или извлеченных из вмещающих пород рудоносными растворами по мере их проникновения в более верхние горизонты земной коры.

Для познания законов рудообразования все больше и больше должны привлекаться данные химии, физики и других наук и разрабатываться новые методы исследований для решения таких проблем, как связь оруденения с магматизмом, околорудные изменения вмещающих пород, типы рудных формаций и закономерности их сочетания, структура месторождений, находящихся в различных структурных этажах и ярусах.

Углубленное разрешение всех поставленных выше вопросов на базе данных физической химии и других наук путем детального массового изучения разнообразных магматогенных рудных месторождений является первоочередной задачей дальнейших

исследований в области учения о рудных месторождениях. Однако полноценность такого рода исследований требует не только природных наблюдений и теоретических обобщений, но также и постановки широких экспериментальных исследований по различным вопросам, связанным с рудообразованием, которые должны шире проводиться различными научно-исследовательскими институтами с максимально возможным приближением к природным условиям.

В области изучения экзогенных месторождений различных металлов и неметаллических ископаемых важно продолжить успешно начатые исследования по выявлению климатических условий, благоприятных для накопления руд различных металлов и другого вида минерального сырья. Для дальнейшего познания процессов образования, локализации и общих закономерностей размещения экзогенных месторождений необходимо углубить изучение геологических и геохимических факторов, вызывающих формирование древних кор выветривания на различных субстратах, включая зоны окисления первичных рудных месторождений. При этом должно быть углублено и расширено изучение геохимического профиля кор выветривания в различных геотектонических и климатических условиях. Это имеет прежде всего особое важное значение при введении перспективных площадей под поиски месторождений бокситов и силикатных никелевых руд.

По-прежнему большое внимание должно уделяться изучению литолого-фациальных особенностей формирования экзогенных рудных и неметаллических месторождений на базе широких геологических и геохимических исследований, которые должны учитывать приуроченность оруденения к различным фациям и литологическим разностям пород. Необходимо продолжать детальное изучение всех разведываемых и эксплуатируемых экзогенных месторождений, в каждом отдельном случае устанавливая роль сингенетических, диагенетических и эпигенетических процессов при их формировании. На базе изучения истории геологического развития рудоносных площадей необходимо выявлять значение колебательных движений земной коры при формировании экзогенных месторождений. Необходимо также продолжать исследования во всех рудоносных провинциях, несущих экзогенное оруденение, по выяснению источников сноса, способов транспортировки рудных компонентов и благоприятных физико-химических условий для их концентрации. По-прежнему важное значение имеет изучение минерального состава руд и выявление условий распространения элементов-спутников, образующих ореолы рассеяния.

Дискуссионные вопросы о происхождении некоторых типов месторождений должны быть разрешены путем более углубленных комплексных исследований с применением новейших мето-

дов. При этом особое внимание должно быть уделено изучению физико-химических условий рудообразования.

Суммируя имеющийся материал по изучению экзогенных и низкотемпературных эндогенных месторождений, необходимо уточнить геологические и геохимические критерии их отличия. Важно в самое ближайшее время значительно расширить экспериментальное моделирование экзогенных процессов минералообразования.

При изучении метаморфогенных месторождений железа, марганца и других полезных ископаемых необходимо направлять исследования на выяснение условий образования богатых руд. При планировании и проведении геологических и геохимических исследований на всех главнейших известных месторождениях этого класса основное внимание должно быть уделено уточнению известных и разработке новых критериев отличия их от эндогенных образований.

При изучении месторождений всех генетических типов и определений перспективных площадей для поисков новых месторождений необходимо широкое привлечение всех достижений современных геологических, геохимических, геофизических, физических, физико-химических и математических наук в их взаимосвязи. Такие всесторонние комплексные исследования дадут возможность получить более совершенную информацию, необходимую для глубоко обоснованного научного прогнозирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заканчивая краткое рассмотрение основных этапов развития науки о рудных месторождениях в нашей стране, нетрудно убедиться, что за период существования Советского государства эта наука прошла большой, сложный, но исключительно плодотворный путь. Успехи учения о рудных месторождениях не могут рассматриваться в отрыве от общих успехов, достигнутых в СССР в строительстве социализма и общего роста советской науки. От единичных исследований в области теории рудообразования, проводившихся в первые годы Советского государства отдельными учеными, научные исследования в области рудных месторождений все более и более переходили в коллективные исследования, проводимые специалистами различного профиля. В современный период они превратились в массовые комплексные исследования, выполняемые многочисленными геологами-производственниками и сотрудниками научно-исследовательских институтов и вузов по единому плану, утвержденному директивными органами.

Существенно менялись как содержание, так и методы исследований. От изучения геологии отдельных разрозненных месторождений, в основном направленном на выяснение формы, размеров, вещественного состава и условий залегания рудных тел, исследования непрерывно усложнялись в связи с необходимостью разрешения все более и более разнообразных вопросов. Потребовалось в небывалых масштабах развернуть исследования на вновь выявляемых многочисленных рудных объектах, непрерывно углубляя детальность наблюдений и совершенствуя саму методику исследования. Наряду с этим стало необходимым распространять исследования на крупные рудоносные провинции и районы, анализируя условия образования и закономерности размещения большого количества месторождений и рудопроявлений различных генетических типов, находящихся в разнообразной геологической обстановке. Постановка таких сложных и многообразных исследований вызывалась запросами практики социалистического строительства.

На примере развития учения о рудных месторождениях очень ярко проявилась тесная связь науки и практики в условиях социалистического государства. Разрешая производственные вопросы по расширению сырьевой базы различного вида минерального сырья, советские геологи успешно выполняли стоящие перед ними задачи, опираясь на данные различных геологических наук и прежде всего на достижения науки о рудных месторождениях, которые имелись в каждый данный период. Вместе с тем в процессе проведения все большего и большего объема геологоразведочных работ собирался огромный фактический материал, анализ которого способствовал углублению и совершенствованию различных сторон упомянутой науки.

Таким образом, учение о рудных месторождениях в СССР развивалось и совершенствовалось при тесной и гармоничной связи науки и практики. Партия и правительство оказывали советской геологической службе большое внимание и помощь, что крайне благоприятно сказалось на развитии науки о рудных месторождениях.

Какой бы раздел учения о рудных месторождениях мы ни взяли — разработка большей части основных прогрессивных направлений этого учения принадлежит отечественным геологам.

В области теории магматических месторождений (платина, хромиты, титаномagnetиты, медно-никелевые сульфидные руды, апатиты, руды редких земель и др.) советская наука сразу заняла ведущее место в мировой науке. Приоритет глубоких теоретических исследований в области условий формирования пегматитовых месторождений принадлежит отечественным ученым. То же относится к контактово-метасоматическим образованиям, зоне гипергенеза, зоне окисления сульфидных месторождений, минеральным образованиям, связанным с корой выветривания на ультраосновных и других породах, а также к осадочным и метаморфогенным месторождениям полезных ископаемых.

За последние годы отечественные ученые добились исключительных успехов и в области изучения условий образования наиболее многочисленной и наиболее сложной группы гидротермальных месторождений.

Развивая различные научные направления, посвященные учению о гидротермальных месторождениях, советские геологи получили ценнейшие данные по вопросу о генетической связи оруденения с интрузивными породами. Нигде в другой стране так детально не изучались структуры гидротермальных месторождений и не проанализированы общие закономерности пространственного распределения оруденения в зависимости от нахождения их в различных структурных этажах и ярусах. Советские геологи, умело используя законы физической химии, внесли большой вклад в выяснение сложных процессов рудообразования и высказали важные идеи по вопросам отделения летучих

компонентов от магмы, причинам движения рудоносных растворов, изменению режима кислорода и серы при рудообразовании и др. Отечественные геологи провели первоклассные исследования различных парагенезисов, минералов, изучили физико-химические условия формирования структур и текстур руд, они глубоко проанализировали также физико-химические условия метасоматических процессов и показали роль среды в рудообразовании.

Советские геологи, обобщив исключительно большой материал по поискам и разведке рудных месторождений, выявили и описали много совершенно новых, уникальных типов месторождений различных металлов, ранее неизвестных или мало известных в мировой практике.

Отечественные исследователи внесли исключительно большой вклад в разработку нового, металлогенического, направления в учении о рудных месторождениях, которое способствует правильному направлению поисковых работ в различных рудных провинциях нашей страны, приведших к ряду важных открытий.

В нашей стране проведена в крупных масштабах организация комплексных исследований при изучении рудных месторождений с применением геологических, геохимических, геофизических и других методов исследований.

Все эти успехи принадлежат большому коллективу советских геологов, воспитанных Коммунистической партией Советского Союза.

Учение о рудных месторождениях в СССР по мере своего развития способствовало выявлению разнообразных месторождений полезных ископаемых и обеспечению народного хозяйства всеми необходимыми видами минерального сырья.

Дальнейший прогресс этого учения несомненно будет способствовать все новым и новым открытиям и позволит геологам, работающим в области поисков, разведки и изучения рудных и неметаллических месторождений, внести достойный вклад в создание материально-технической базы коммунизма.

ЛИТЕРАТУРА

Первый период, 1917—1928 гг.

- Архангельский А. Д. и Корбуш И.* Общие результаты разведочных работ в области Щигровского максимума Курской магнитной аномалии.—Труды Особой комиссии по исследованию Курской магнитной аномалии, 1926, вып. 7.
- Архангельский А. Д.* Сеноманские и третичные фосфориты Южно-Русской впадины.—В кн. «Фосфориты СССР», Л., Геол. Ком., 1927.
- Богданович К. И.* Дополнит. курс лекций «Рудные месторождения». Вып. 1—5. СПб., 1907—1908.
- Болдырев А. К., Григорьев И. Ф.* Карта главнейших полиметаллических месторождений Рудного Алтая. (Пояснения к карте и выводы из нее). Л., Геол. Ком., 1927.
- Варданьянц Л. А.* Садонский рудоносный район.—Труды Сев.-Кавказ. научно-исслед. ин-та, 1926, № 6, вып. 1.
- Высоцкий Н. К.* Платина и районы ее добычи.—Естеств. производит. силы России. Геол. Ком., вып. 11, 1923—1925.
- Григорьев И. Ф.* Исследование Алтайских руд в отраженном свете. Л., Геол. Ком., вып. 70, 1927.
- Дервиз В. М.* О геологических исследованиях в Гороблагодатском районе в 1923—1924 гг.—Изв. Геол. Ком., 1924, № 10.
- Заварицкий А. Н.* О железорудных Бакальских месторождениях на Южном Урале.—Вестн. Геол. Ком., 1925, № 4.
- Заварицкий А. Н.* О классификации магматических рудных месторождений.—Изв. Геол. Ком., 1926, № 2.
- Заварицкий А. Н.* Гора Магнитная и ее месторождения железных руд.—Труды Геол. Ком., новая серия, 1927, вып. 122.
- Заварицкий А. Н.* Коренные месторождения платины на Урале.—Изв. Геол. Ком., материалы по общ. и прикл. геол., 1928, вып. 708.
- Заварицкий А. Н.* Геологический очерк месторождений медных руд на Урале.—Труды Геол. Ком., 1927—1929, вып. 173, ч. 1—2.
- Замятин А. Н.* Пермские медистые песчаники.—Естеств. производит. силы России, 1927, 4, вып. 7.
- Захаров Е. Е.* Колчеданные месторождения восточного склона Урала.—Мин. сырье, 1927, № 2.
- Карпинский А. П.* О вероятном происхождении коренных месторождений платины Уральского типа.—Изв. АН СССР, 1926, № 1—2.
- Котульский В. К.* О глубине жильных месторождений.—Изв. Геол. Ком., 1922, 40, № 1.
- Котульский В. К.* Месторождения Сугатовского рудника и Сургутановского приска на Алтае. Л., Геол. Ком., 1926.
- Котульский В. К.* Медные и полиметаллические месторождения Май-Каина в Киргизской степи. Л., Геол. Ком., 1928.
- Куриаков Н. С.* О результатах работ Карабугазской экспедиции 1921—1922 гг.—Докл. Рос. Акад. наук, 1922, серия А, янв.—дек.

- Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Опыт классификации магматических рудных и иных минеральных месторождений.— Докл. АН СССР, 1927, серия А, № 12.
- Луцицкий В. И.* Керченский железорудный район.— Труды Центр. упр-ния пром. разв., М., 1922.
- Малаякин С. Ф.* Алюминий и боксит.— Обзор минеральных ресурсов СССР, 1927, вып. 4.
- Марков К. В.* Условия залегания оолитовых красных железняков на западном склоне Урала.— Изв. Геол. Ком., 1927, 45, № 8.
- Михеев Н.* Алапаевский железорудный район.— Поверхность и недра, 1927, № 7—8.
- Паффенгольц К. Н.* Дашкесан и Заглик.— Труды Геол. Ком., новая серия, 1928, вып. 170.
- Перфильев Б. В.* Новые данные о роли микробов в рудообразовании. Изв. Геол. Ком., 1926, № 7.
- Покровский Д.* Никопольское месторождение руд.— Мин. сырье, 1928, № 8.
- Пятницкий П. П.* Генетические отношения криворожских рудных месторождений, т. I и II.— Труды Ин-та прикл. мин. и металлург., 1924—1925, вып. 9 и 10.
- Обручев В. А.* Ольгинское золоторудное месторождение в Кузнецком Алатау.— Рудный вестник II, 1917, № 3—4.
- Обручев В. А.* Принципы классификации рудных месторождений.— Вестник Моск. Горн. акад., 1922, вып. 1.
- Обручев В. А.* Олекминско-Витимский золоторудный район.— Библиотек: Горн ж., 1923, № 1.
- Обручев В. А.* Геологический обзор золоторудных районов Сибири, ч. III 1923.
- Обручев В. А.* Рудные месторождения (Конспект лекций, читанных в 1923—24 г.), ч. 1—2. Научно-техн. клуб ТГА, 1924 (стеклограф).
- Обручев В. А.* Новые золотоносные районы Восточной Сибири.— Горн. ж., 1924, № 1—8.
- Обручев В. А.* Металлогенетические эпохи и области Сибири.— Труды Ин-та прикл. мин. и металлург. М., Госиздат, 1926.
- Обручев В. А.* Геологический обзор Сибири. М., Госиздат, 1927.
- Обручев В. А.* О возрасте Садонского гранита.— Геол. вестник, 1928, 1, № 1—3.
- Обручев В. А.* Рудные месторождения, ч. 1. Изд-во Моск. Горн. акад., 1928, 2.
- Ренгартен В. П.* Богучан, месторождения флюорита и стибнита в Амурской обл.— Материалы по общ. и прикл. геол., 1924, вып. 21.
- Свицальский Н. И.* Железорудные месторождения Кривого Рога и генезис его руд.— Изв. Геол. Ком., 1924, 43, № 1.
- Смирнов С. С.* Материалы к характеристике Нерчинских свинцово-цинковых месторождений. Изв. Геол. Ком., 1927, № 8.
- Соседко А. Ф.* Новые месторождения антимонита и киновари в Фергане.— Докл. АН СССР, 1927, № 12.
- Танатар И. И.* Новейшие взгляды на происхождение полосчатых железистых кварцитов в связи с вопросом происхождения этих пород и руд в Криворожском бассейне.— Инж. работник, № 1, 1926.
- Ферсман А. Е.* Процессы замещения в гранитных пегматитах.— Докл. АН СССР, 1926, май.
- Ферсман А. Е.* Охотский металлический пояс.— Поверхность и недра, 1926, № 3 (19).
- Чупиллин И. И.* Челябинская группа месторождений золота и арсенипирита.— Вестник Геол. Ком., 1925, № 1.
- Шадлун Н. А.* Никель.— Естеств. производит. силы России, 1923, вып. 5, 4.
- Щербатов Д. И., Соседко А. Ф.* Работа Южно-Ферганской экспедиции по изучению сурьмяно-ртутных месторождений.— Докл. АН СССР, 1928.
- Яковкин И. С.* Вторичное обогащение сульфидов. Горн. ж., 1923, № 12; 1924, № 1—5.

- Архангельский А. Д., Рожкова Е. В. Об условиях накопления меди в осадочных породах.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1932, 10 (2)
- Архангельский А. Д. К вопросу об условиях образования бокситов в СССР.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1933, 11 (4).
- Архангельский А. Д. и Соловьев Н. В. Экспериментальные исследования по вопросу о способах накопления меди в осадочных породах.— Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 2.
- Белянкин Д. С. О переносе кремнекислоты посредством надкритического водяного пара.— Природа, 1933, № 3—4.
- Белянкин Д. С. К вопросу о петрогенетическом значении контактовых явлений.— Труды XVI сессии МГК, т. 5. ГОНТИ, Ред. горно-топлив. и геол.-развед. лит.-ры, М., 1940.
- Бетехтин А. Г. Платина. М., Изд-во АН СССР, 1935.
- Бетехтин А. Г. О новых минеральных видах группы гидроокислов марганца.— Записки мин. об-ва, 1937, ч. 66, № 4.
- Бетехтин А. Г. Классификация структур и текстур руд.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 1—2.
- Бетехтин А. Г. Шорджинский хромитоносный перидотитовый массив (в Закавказье) и генезис месторождений хромистого железняка вообще.— В кн. «Хромиты СССР», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1937.
- Бетехтин А. Г., Болдырев А. К. и др. Курс минералогии. Л.— М., ОНТИ, 1936.
- Бетехтин А. Г., Зверев В. Н. и др. Краткий курс месторождений полезных ископаемых. Л.— М., Гортоп и Геолразведиздат, 1938.
- Билибин Ю. А. К вопросу о локализации месторождений золота.— Пробл. сов. геологии, 1935, № 5.
- Билибин Ю. А. О механизме образования аллювиальных россыпей золота.— Проблемы сов. геологии, 1936, № 1.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М.— Л., ГОНТИ, 1938.
- Брызгалов Н. А. К вопросам металлогении и перспективной оценки рудного Кара-тау. М.— Л., Цветметиздат, 1932.
- Варданянц Л. А. Опыт металлогенической характеристики Центрального Кавказа. М.— Л., Геолиздат, 1931.
- Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.— Л., Госиздат, 1937.
- Власов К. А. О роли известняков в процессе образования месторождений скарнового типа.— Докл. АН СССР, 1940, 26, вып. 3.
- Власов К. А. Каталитическая роль фтора в процессе десиликации пегматита и генезис берилла. (Изумрудные копи, Средний Урал).— Труды Ломоносов.-та геох., крист. и мин., 1938.
- Вольфсон Ф. И. Оруденение Северо-Восточного Карамазара.— В кн. «Проблема оруденения Северного Карамазара». Труды Среднеазиат. экспед. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Вольфсон Ф. И. Такели как тип рудных месторождений Западного Тянь-Шаня. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1936.
- Вольфсон Ф. И. Основные черты металлогении Западного Тянь-Шаня.— Изв. АН СССР, серия геол., 1940, № 3.
- Вольфсон Ф. И., Борковский П. М., Дубров А. Г., Рекстынь И. В. Оруденение Южно-Чаткальских гор.— Труды Среднеазиат. экспед. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1937.
- Волорovic Г. П. К геологии и металлогении Верхнемынского района (Верхняя Селемджа). Владивосток, Изд-во «Красное Знамя», 1938.
- Гинзбург И. И. Геохимия коры выветривания серпентинитов Южного Урала.— Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 1.
- Глебов С. М., Григорьев И. Ф. Геологоразведочные работы на Рудном Алтае.— В кн. «Большой Алтай», т. 1, 2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1934—1936.
- Григорьев Д. П. О взаимоотношениях полевошпатово-пироксенового и сульфидного расплава.— Записки Мин. об-ва, 1938, 17, № 1.

- Григорьев И. Ф. Первичные руды Тетюхе и их генезис.— Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
- Грушевой В. Г. Аллавердское медное месторождение в Закавказье (его породы, руды и генезис).— Труды Главн. геол.-разв. упр-ние, 1930, вып. 1.
- Данов А. В. Сера.— В кн. «Нерудные ископаемые Советской Азии» М., Изд-во «Сов. Азия», 1932.
- Дербигов И. В. О влиянии рудной тектоники на качественный состав месторождений.— Вестник Зап.-Сиб. геол. треста (Томск), 1937, № 1.
- Дубына И. В. Графитовые месторождения Украинского докембрия, их строение и генезис. М., ГОНТИ, 1939.
- Елисеев Н. А. О геологических структурах Хибинского и Ловозерского интрузивных массивов.— Пробл. сов. геологии, 1936, № 1.
- Елисеев Н. А. Структуры рудных полей в первично-расслоенных плутонах Кольского полуострова.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 6.
- Заварицкий А. Н. Колчеданное месторождение Блява на Южном Урале и колчеданные залежи Урала вообще.— Труды Геол. ин-та АН СССР, 1936, № 5.
- Заварицкий А. Н. О фузивных магматических месторождениях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 4.
- Заварицкий А. Н. К вопросу о происхождении железных руд Бакала.— Труды Геол. ин-та АН СССР, серия рудн. месторожд., 1939, вып. 13, № 2.
- Заганский А. Л. Геология и характеристика руд КМА. Воронеж, Изд-во «Коммуна», 1933.
- Захаров Е. Е. О геологической структуре Никитовского месторождения ртутных руд в Донецком бассейне.— Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
- Казаков А. В. Химическая природа фосфатного вещества фосфоритов и их генезис. Л., ОНТИ, Химтеорет, 1937.
- Казаков А. В. Фосфатные фации. Л.— М., ГОНТИ, 1939.
- Кассин Н. Г. Металлогенические циклы Казахстана.— Пробл. сов. геологии, 1935, № 2.
- Кассин Н. Г. Связь вулканизма и металлогенезиса с тектоническими структурами Казахстана.— Пробл. сов. геологии, 1937, № 8.
- Кассин Н. Г. Металлогенические процессы Казахстана.— Записки Мин. об-ва, 1938, ч. 67, вып. 2.
- Коржинский Д. С. Парагенетический анализ кварцсодержащих бедных кальцием кристаллических сланцев архейского комплекса Южного Прибайкалья.— Записки Мин. об-ва, 1936, вып. 2.
- Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири.— В сб. «Слюды СССР». М., Изд-во ЦНИГРИ, 1937.
- Коржинский Д. С. Факторы минеральных равновесий и минералогические фации глубинности.— Труды Ин-та геол. АН СССР, вып. 12, серия петрограф., 1940, № 5.
- Королев А. В. Месторождения медистых песчаников Науката и некоторые другие месторождения меди в Средней Азии. М., ОНТИ НКТП СССР, 1934.
- Королев А. В. Структуры рудных полей и месторождений. Ташкент, Изд-во Среднеазиат. индустриал. ин-та, 1936.
- Королев Н. И., Захаров Е. Е. Структура рудного поля, минералогический состав и генезис Никитовского ртутного месторождения в Донецком бассейне. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- Котляр В. Н. Материалы к изучению рудных месторождений северной части Армении. М., ОНТИ НКТП СССР, 1934.
- Котляр В. Н. Некоторые вопросы изучения структур рудных полей. Пробл. сов. геологии, 1936, № 6.
- Котляр В. Н. Структура Зангезурского рудного поля.— Изв. АН СССР, серия геол., 1938, № 2.
- Котляр В. Н. О возрастном расчленении интрузивов Малого Кавказа.— Записки Мин. об-ва, 1940, ч. 69, № 2—3.

- Крейтер В. М.* Разведка Кадаинского рудника в Нерчинском округе. М.—Л., Геолгизд. ГГРУ, 1931.
- Крейтер В. М.* Полиметаллические руды Абхазии.—Пробл. сов. геол., 1936, № 10.
- Крейтер В. М.* О некоторых генетических особенностях полиметаллических месторождений Средней Азии. В кн. «Научные итоги работ Таджикско-Памирской экспед.» М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.
- Крейтер В. М.* Поиски и разведки месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолгиздат, 1940.
- Крейтер В. М., Смирнов В. И.* Полиметаллические месторождения северного склона Таласского Алатау. (Отчет ТПЭ). М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Крейтер В. М., Смирнов В. И.* Полиметаллическая база Средней Азии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
- Кротов Б. П.* Отчет о работах по исследованию Алапаевских железорудных месторождений.—Труды ГГРУ, 1931, вып. 34, 90.
- Кротов Б. П.* Железорудные месторождения Алапаевского типа на восточном склоне Среднего Урала и их генезис, т. I. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.
- Курнаков Н. С.* (ред.). Соликамские карналиты. Сб. статей. М.—Л., ОНТИ, 1935.
- Лебедев П. И.* Проблемы изучения основной магмы.—Пробл. сов. геологии, 1936, № 1.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Проблема магмы.—Учен. записки Ленингр. ун-та, 1937, № 17.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Магматические месторождения железных руд.—Труды конф. по генез. руд железа, марганца и алюминия. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937, 1.
- Левицкий О. Д.* Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья. В кн. «Месторождения редких и малых металлов СССР», т. II. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.
- Логинов В. П., Павлов Н. В., Соколов Г. А.* Хромитоносность Кемпирсайского ультраосновного массива на Южном Урале.—В кн. «Хромиты СССР», т. II. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- Машковцев С. Ф.* Взаимосвязь между вулканизмом, тектоникой и рудообразованием на примере Тянь-Шаня.—Пробл. сов. геологии, 1937, № 4.
- Малаякин С. Ф.* К вопросу о генезисе месторождений бокситов в СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
- Мишарев Д. Т. и Амеландов А. С.* Мамские слюдяные месторождения. Л., Геол. Ком., 1928.
- Наковник Н. И.* Вторичные кварциты и их связь с прочими метаморфизованными породами.—Сов. геология, 1938, вып. 11.
- Наследов Б. Н.* Контуры металлогении и металлорудных возможностей Средней Азии. Ташкент, Изд-во «Красная звезда», 1932.
- Наследов Б. Н.* Карамазар.—Труды ТПЭ АН СССР. Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Никонов А. А.* К вопросу о характере накопления меди в пермских осадках.—Проблемы сов. геологии, 1937, № 2.
- Нифонтов Р. В.* Геология россыпей. Труды НИГРИЗОлото, 1937, ОНТИ, вып. 6.
- Новохатский И. П.* С главных полиметаллических месторождениях комбина-та Казсредазполиметалл.—В кн. «Труды IV Всес. геолог. конф. по цветн. металлам. Полиметаллы». М.—Л., НКТП, Цветметгиздат, 1932.
- Обручев В. А.* Рудные месторождения. (Часть описательная). М.—Л., Госпромиздат, 1929.
- Обручев В. А.* Рудные месторождения. М., Горгеонефтеиздат, 1934.
- Падалка Г. Л.* Белоусовский рудник на Алтае. Л., Геол. Ком., 1929.
- Пилипенко П. П.* Скарны и оруденение.—Труды Моск. геол.-развед. ин-та, 1939, 13.

- Пустовалов Л. В.* Петрография осадочных пород, ч. 1. 2. М.—Л., Гостоптехиздат, 1940.
- Пэк А. В.* К вопросу о генезисе Южноуральской группы месторождений титано-магнетита. В кн. «Титано-магнетитовые месторождения Урала», ч. 2.—Труды Совета по изуч. произв. сил АН СССР, серия «Урал», 1936.
- Пэк А. В.* Трещинная тектоника и структурный анализ. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1939.
- Рожкова Е. В.* Минералогия и условия образования палеозойских бокситов и железо-алюминиевых руд Урала.—В кн. «Бокситы», т. 3. М.—Л., ОНТИ НКТП, 1938.
- Сатпаев К. И.* Джезказганский меднорудный район и его минеральные ресурсы. М.—Л., Цветметиздат, 1932.
- Свительский Н. И.* Курс рудных месторождений, т. 1. Месторождения магматические, т. 2. Месторождения выветривания, осадочные и метаморфические. Л.—М.—Новосибирск, Гос. науч.-техн. горно-геол. нефт. изд-во, 1933.
- Смирнов С. С.* К металлогении Восточного Забайкалья. В кн. «Первый Вост.-Сиб. краевой научно-исслед. съезд», вып. 1. М.—Иркутск, ОГИЗ, 1932.
- Смирнов С. С.* Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья. Л.—М.—Новосибирск. Гос. науч.-технич. горно-геол.-нефт. изд-во, 1933.
- Смирнов С. С.* К минералогии Среднесибирской платформы (Ангаро-Илимские железорудные месторождения). Проблемы сов. геологии, 1933, № 10.
- Смирнов С. С.* Металлогения Западного Верхоянья.—Пробл. сов. геологии, 1934, № 4.
- Смирнов С. С.* Схема металлогении Восточного Забайкалья.—Пробл. сов. геологии, 1936 1, № 10.
- Смирнов С. С.* Зона окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений. Л.—М., ОНТИ НКТП, 1936 2.
- Смирнов С. С.* Некоторые замечания о сульфидно-касситеритовых месторождениях.—Изв. АН СССР, серия геол., 1937 1, № 5.
- Смирнов С. С.* К вопросу о зональности рудных месторождений.—Изв. АН СССР, серия геол., 1937 2, № 6.
- Смолянинов Н. А.* Флюоритовые месторождения Средней Азии. М., Изд-во АН СССР, 1935.
- Соколов Г. А.* Геохимия хрома и генетические особенности хромитовых месторождений.—В кн. «Междун. геол. конгр. Труды 17 сессии», т. 5, М., ГОНТИ, 1940.
- Страхов Н. М.* Тектоническое размещение гипергенных железных руд и их аналогов.—Сов. геология, 1937, № 2.
- Страхов Н. М.* Историко-геологические закономерности формирования гипергенных железных руд.—Изв. АН СССР, серия геол., 1940, № 3.
- Страхов Н. М.* Геологические условия возникновения гипергенных железных руд внутри климатически благоприятных для них зон.—Сов. геология, 1941, № 1.
- Стрелкин М. Ф.* К вопросу об оловоносных пегматитах.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1938, № 6.
- Сыромятников Ф. В.* К вопросу о газовом переносе кремнекислоты.—Труды геолог. ассоц. АН СССР, вып. 3, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Татаринов П. М.* Асбест.—В кн. «Нерудные ископаемые Советской Азии». М., Изд-во «Сов. Азия», 1932.
- Татаринов П. М. и др.* Курс нерудных месторождений. М.—Л.—Новосибирск, ОНТИ, 1934.
- Тимофеев В. Д., Зив Е. Ф.* Шеелитоносность скарнов восточного склона Кузнецкого Алатау.—Труды Всес. н.-и. ин-та мин. сырья, 1939, вып. 145.
- Уклонский А. С.* Геохимическая характеристика Шорсуйского серного района.—В кн. «Полезные ископаемые Шорсу». Ташкент, Узб. гос. изд-во, 1935.

- Ульянов Д. Г. Месторождения силикатно-никелевых руд Орско-Халиловского района. М.—Л., Госгеолиздат, 1937.
- Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск, Издатком. ВТУЗ, 1931; 2 изд. 1933.
- Ферсман А. Е. Перспективы распространения полезных ископаемых на территории Союза. Л., Изд-во АН СССР, 1932.
- Ферсман А. Е. (ред.). Апатитовые месторождения Хибинских тундр. Л., Госхимтехиздат, 1934.
- Ферсман А. Е. Геохимия, т. 1—4. Л., Госхимтехиздат, 1933—1939.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. 1. Гранитные пегматиты. 3 изд. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
- Ферсман А. Е. В. И. Ленин и изучение производительных сил СССР.—Вестник АН СССР, 1940, № 4—5.
- Хитаров Н. И. О состоянии остаточного магматического раствора. Сов. геология, 1939, сб. 7.
- Хитаров Н. И., Иванов Л. А. Исследования в области критических температур водных растворов.—Труды II совещ. по экспер. мин. и петр. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
- Хитаров Н. И., Иванов Л. А. О взаимосвязи молибдена с кремневой кислотой.—Докл. АН СССР, 1940, 27, вып. 7.
- Чупилин И. И. Генетические типы мышьяковых месторождений Средней Азии.—Труды ТПЭ АН СССР, М.—Л., 1937.
- Чухро Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1936.
- Шапиро И. А. Графит.—В кн. «Неметаллические ископаемые» СССР», т. 5. М.—Л., АН СССР, 1941.
- Щербаков Д. И. Особенности металлогении Средней Азии. В кн. «Таджикско-Памирская экспедиция 1934 г.» М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Щербаков Д. И. Направление поисков и разведок редких металлов в III пятилетии.—Пробл. сов. геологии, 1937, № 8.
- Щербина В. В. Окислительно-восстановительные потенциалы в применении к изучению парагенезиса минералов.—Докл. АН СССР, 1939, 22, № 8.
- Щербина В. В. Геохимия. М., Изд-во АН СССР, 1939.
- Яговкин И. С. Медистые песчаники и сланцы.—Труды ВГРО, вып. 185, Гос. науч.-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1932.
- Янишевский Е. М. К вопросу о совместном нахождении молибдена и ванадия в окисленной зоне рудных месторождений.—Пробл. сов. геологии, 1934, № 2.

Третий период, 1941—1945 гг.

- Белянкин Д. С. Насколько же в действительности растворяется кремнекислота в водяном паре?—Сов. геология, 1944, сб. 3.
- Берг Л. С. О происхождении Уральских бокситов.—Изв. Всес. геогр. об-ва, 1945, вып. 1—2.
- Билибин Ю. А. Послеюрские интрузии Алданского района.—В сб. «Петрография СССР», серия регион. петрогр., вып. 10. М., Изд-во АН СССР, 1941.
- Билибин Ю. А. О роли батолитов в золотом оруденении.—Докл. АН СССР, 1945, 50, вып. 1.
- Бородаевская М. Б. О происхождении березитов и некоторых других метасоматических пород Березовского золотого месторождения на Среднем Урале.—Записки Мин. об-ва, 1944, вып. 2—3.
- Вольфсон Ф. И. Главнейшие полиметаллические и некоторые медные месторождения Центрального Казахстана. М., Изд-во АН СССР, 1945.
- Ершов А. Д. Тектоника рудных полей жильного типа.—Сов. геология, 1941, сб. 4.
- Заварицкий А. Н. О генезисе колчеданных месторождений.—Изв. АН СССР, серия геол., 1943, № 3.
- Заварицкий А. Н. Введение в петрохимию изверженных горных пород. М., Изд-во АН СССР, 1944.

- Заварицкий А. Н.* Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
- Заварицкий А. Н.* Метаморфизм и метасоматизм в уральских колчеданных месторождениях.— В кн. «Колчеданные месторождения Урала». М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Иванов С. Н.* Новые данные о генезисе колчеданных месторождений Среднего Урала.— Изв. АН СССР, серия геол., 1941, № 2.
- Каржавин Н. А.* Месторождение бокситов «Красная шапочка».— Изв. АН СССР, серия геол., 1942, № 4.
- Коржинский Д. С.* Образование контактовых месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 3.
- Кочуров В. Б.* Отношение рудных месторождений к складчатым структурам Ц. Казахстана.— Сов. геология, 1941, сб. 8.
- Крейгер В. М.* О классификации структур рудных полей и месторождений.— Сов. геология, 1941, сб. 6.
- Кротов Б. П.* Халиловское месторождение комплексных железных руд. М., Изд-во АН СССР, 1942.
- Кротов Б. П.* Закономерности распределения на Урале комплексных месторождений руд железа, никеля и кобальта категории выветривания.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 2.
- Магакьян И. Г.* Металлоносность скарных зон Зеравшано-Гиссарской горной области.— Изв. АН СССР, серия геол., 1941, № 2.
- Меренков Б. Я., Муратов М. В.* Неметаллические полезные ископаемые. М.— Сverdл., Госгеолиздат, 1942.
- Николаев В. А.* О процессах отделения летучих соединений от магмы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
- Николаев В. А.* О критических явлениях в бинарных системах типа силикат—вода.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 5.
- Николаев В. А.* О тройных системах с летучими компонентами и принципе ограниченной растворимости летучих в силикатных расплавах.— Записки Мин. об-ва, 1946, ч. 75, № 4.
- Никольский А. П.* О генезисе оловоносной магмы.— Сов. геология, 1941, сб. 4.
- Обручев В. А.* Образование гор и рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1942.
- Пейве А. В.* Тектоника Северо-Уральского бокситового пояса.— М., Бюлл. МОИП, новая серия, вып. 4(8), 1947.
- Пэк А. В.* Основные особенности структуры и процесса минерализации месторождения Тырны-Ауз.— В кн. «Природные ресурсы Кабардинской АССР». М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Пэк А. В.* Структура и некоторые вопросы генезиса Левихинских колчеданных месторождений на Среднем Урале.— В кн. «Колчеданные месторождения Урала». М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Смирнов С. С.* К оценке оловорудных районов.— Сов. геология, 1941, сб. 3.
- Смирнов С. С.* Очерк металлогении Восточного Забайкалья. М.— Л., Госгеол-издат, 1944.
- Смирнов С. С.* Об оловянно-вольфрамовом оруденении Востока СССР.— Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 6.
- Страхов Н. М.* Геологические условия возникновения гипергенных железных руд внутри климатически благоприятных для них зон.— Сов. геология, 1941, сб. 1.
- Сыромятников Ф. В.* К вопросу об определении растворимости кремнезема в воде при высокой температуре и высоком давлении.— Сов. геология, 1944, сб. 3.
- Татаринов П. М.* Послерудная тектоника хромитовых залежей Урала и ее значение для разведок последних.— Сов. геология, 1945, сб. 7.
- Чухров Ф. В.* Восточно-Коунрадское месторождение как представитель кварцево-молибденовой формации Центрального Казахстана.— Сов. геология, 1948, сб. 31.
- Шадлун Т. Н.* О колломорфных структурах руд в месторождении Яман-Касы на Южном Урале.— Записки Мин. об-ва, 1942, № 3—4.

Четвертый период, 1946—1953 гг.

- Абдуллаев Х. М. Геология шеелитоносных скарнов Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН Узб. ССР, 1947.
- Абдуллаев Х. М. Генетическая связь оруденения с интрузиями. Ташкент, Изд-во АН Узб. ССР, 1950.
- Абдуллаев Х. М. Некоторые общие вопросы рудообразования в связи с проблемой гранитной магмы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 6.
- Ажигрей Г. Д. Некоторые новые направления в разработке структурной геологии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 3.
- Амирасланов А. А. Разведка месторождений цветных и редких металлов за 30 лет.— Горн. ж., 1947, № 11.
- Афанасьев Г. Д. О некоторых вопросах петрографии в связи с металлогеническими обобщениями.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 4.
- Белевцев Я. Н. Минерал гидрогематит та його роль в рудоутворенні Кривого Рогу.— Геол. ж. АН УССР, 1951, 11, вып. 3.
- Белевцев Я. Н. Типы рудных полей Криворожских железорудных месторождений и соображения о генезисе железных руд.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 2.
- Белевцев Я. Н. К вопросу о фазах формирования структур Криворожской метаморфической полосы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 6.
- Белов Н. В. Некоторые особенности кристаллохимии сульфидов.— В сб. «Вопросы петрографии и минералогии», т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Бенеславский С. И. Пиритные бокситы.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1953, 27(1).
- Берг Л. С. Отлагались ли уральские бокситы в море?— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 5.
- Бетехтин А. Г. О минераграфии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 6.
- Бетехтин А. Г. О влиянии режима серы и кислорода на парагенетическое соотношение минералов в рудах.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 3.
- Бетехтин А. Г. К истории русской минералогии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 4.
- Бетехтин А. Г. Парагенезисы рудных минералов в системах Fe—S—O и Cu—Fe—S—O.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 5.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Госгеолиздат, 1950; 2-е изд. 1951.
- Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы и их природа и процессы рудообразования.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г. О причинах движения гидротермальных растворов.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г. О генетической связи гидротермальных образований с интрузивными.— В кн. «Основные проблемы в учении магматогенных рудных месторождений». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г., Домарев В. С., Зверев В. Н. и др. Курс месторождений полезных ископаемых, 2-е изд. М.—Л., ГОНТИ, 1946.
- Бетехтин А. Г., Татаринцов П. М. и др. Курс месторождений полезных ископаемых. М.—Л., Гос. науч.-тех. изд-во нефтян. и горно-топл. литер., 1946.
- Бетехтин А. Г., Вольфсон Ф. И. К истории развития учения о рудных месторождениях в нашей стране.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Беус А. А. О зональности гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 6.
- Билибин Ю. А. Общие принципы металлогенических исследований.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 5.
- Билибин Ю. А. Вопросы металлогенической эволюции геосинклинальных зон.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 4.

- Билибин Ю. А. К вопросу о вертикальной зональности рудных месторождений.— Записки Всес. мин. об-ва, 1951, ч. 80, № 2.
- Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М., Металлургиздат, 1947.
- Вахромеев В. А. О возрасте бокситов Урала, Казахстана и Енисейского края.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 2.
- Власов К. А. Текстурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов.— Докл. АН СССР, 1946, 36, № 3.
- Власов К. А. Текстурно-генетическая классификация гранитных пегматитов.— Докл. АН СССР, новая серия, 1946, 53, № 9.
- Власов К. А. Текстурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 2.
- Вольфсон Ф. И. Изменение плана деформации в процессе развития структуры Западного Карамазара.— В сб. «Геология и горное дело», № 13. М., Металлургиздат, 1947.
- Вольфсон Ф. И. Отношение оруденения эндогенных месторождений к крупным тектоническим нарушениям.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 6.
- Вольфсон Ф. И. Структура и генезис свинцово-цинковых месторождений Юго-Западного Карамазара. М., Изд-во АН СССР, 1951.
- Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Вольфсон Ф. И. Структуры эндогенных месторождений.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Вольфсон Ф. И., Лукин Л. И. Некоторые итоги в изучении структур рудных месторождений в СССР.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 1.
- Вольфсон Ф. И., Невский В. А. О первичной зональности в гидротермальных месторождениях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 1.
- Волинский И. С. К постановке минераграфических исследований на рудниках.— Рудничная геол., 1947, сб. № 19.
- Гиммельфарб Б. М. Фосфоритноый бассейн Кара-тау и перспективы его освоения.— Сов. геология, 1946, сб. 10.
- Гинзбург А. И. О некоторых группах гранитных пегматитов, образовавшихся в различных геологических условиях и их оценке.— Разведка недр, 1952, № 2.
- Гинзбург И. И. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала, ч. I.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1946, вып. 30.
- Гинзбург И. И. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала, ч. II.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1947, вып. 31.
- Гладковский А. К. О генезисе уральских бокситов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 2.
- Гладковский А. А. Никель. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 4. М., Госгеолиздат, 1949.
- Горецкий Ю. К. Некоторые черты генезиса и основные закономерности размещения бокситовых месторождений.— Сов. геология, 1947, сб. 14—15.
- Григорьев Д. П. Закономерности образования сульфидов меди в колчеданных месторождениях Среднего Урала.— Записки Всес. мин. об-ва, 1948, ч. 6, вып. 1.
- Григорьев И. Ф. Грейзены, их минералогические типы и условия образования.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1953, 27 (1).
- Грушевой В. Г. Основные черты металлогении Кавказа в связи с историей его геологического развития.— В кн. «Советская геология», сб. 2. М., 1953.
- Грушкин Г. Г. Газово-жидкие включения как минералогический манометр.— Записки Всес. мин. об-ва, 1953, вып. 2.
- Гудалин Г. Г., Ковалев Ф. И. Медь. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 6. М., Госгеолиздат, 1951.
- Дмитриевский В. С. Классификация и геологические особенности грейзеновых тел Центрального Казахстана.— Докл. АН СССР, 1952, 84, № 4.

- Елисеев Н. А.* О закономерной приуроченности рудопроявлений к различным структурным элементам интрузивных массивов.— Записки Всес. мин. об-ва, 1948, ч. XXVII, № 4.
- Елисеев Н. А.* Структурная петрология. Л., Изд-во Ленинград. ун-та, 1953.
- Ермаков Н. П.* Критерии познания генезиса минералов и среда рудообразования. Львов. Изд-во Львовск. геол. об-ва, 1949.
- Заварицкий А. Н.* О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. Записки Всес. мин. об-ва, 1947, вып. 1.
- Захаров Е. Е.* К вопросу о классификации месторождений полезных ископаемых.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5.
- Иванов А. А.* О времени выделения золота из растворов.— В сб. «Вопросы минералогии, геохимии и петрографии». М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Иванов А. А.* Основы геологии и методика поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. М., Госгеолиздат, 1953.
- Кашин С. А.* Медно-титаномагнетитовое оруденение в основных интрузивных породах Урала.— Труды ин-та геол. наук АН СССР, 1948, вып. 91.
- Константинов М. М.* Рудные столбы некоторых месторождений.— Сов. геология, 1948, сб. 34.
- Константинов М. М.* Об осадочном происхождении некоторых месторождений свинца и цинка.— Разведка недр, 1951, № 5.
- Коптев-Дворников В. С.* К вопросу о некоторых закономерностях формирования интрузивных комплексов гранитоидов (на примере Центр. Казахстана).— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 4.
- Коржинский Д. С.* Биметасоматические флогопитовые и лазуритовые месторождения архея Прибайкалья. М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Коржинский Д. С.* Петрология Турьинских скарновых месторождений меди.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1948, вып. 68.
- Коржинский Д. С.* Факторы равновесия при метасоматозе.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 3.
- Коржинский Д. С.* Инфильтрационная метасоматическая зональность и образование жил.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 6.
- Коржинский Д. С.* Очерк метасоматических процессов.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Королев А. В.* Состояние представлений о генезисе и условиях локализации постмагматических месторождений в Средней Азии.— Труды Ин-та геол. АН Узб. ССР, 1948, вып. 2.
- Королев А. В.* Зависимость зонального оруденения от последовательности развития структур рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 1.
- Королев А. В.* О значении вмещающих пород в образовании постмагматических месторождений.— Труды Ин-та геол. АН Узб. ССР, 1951, вып. 6.
- Косов Б. М., Остроменецкий Н. М.* Олово. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 2. М., Госгеолиздат, 1949.
- Косыгин Ю. А.* Соляная тектоника платформенных областей. М.— Л., Гостоптехиздат, 1950.
- Котляр В. Н.* Магматизм и металлогенические эпохи Малого Кавказа.— Изв. АН Арм. ССР, естеств. науки, 1947, № 8.
- Котляр В. Н.* О древней Криворожской толще.— Докл. АН СССР, 1951, 76, № 6.
- Котляр В. Н.* О магматизме Кривого Рога и его значении в формировании железорудных месторождений.— В сб. «Геология и горное дело». Моск. ин-т цвет. мет. и золота им. М. И. Калинина и ВНИТО металлургов. Сб. науч. тр. № 21. М., Гос. науч.-тех. изд-во по черн. и цветн. металлургии, 1952.
- Котляр В. Н.* О тектонических фазах Кривого Рога.— В сб. «Геология и горное дело». Моск. ин-т цвет. мет. и золота им. М. И. Калинина и ВНИТО

- металлургов. Сб. науч. тр. № 21. М., Гос. науч.-тех. изд-во по черн. и цветн. металлургии, 1952.
- Котляр В. Н.* О генезисе руд Кривого Рога.— Горн. ж., 1953, № 12.
- Котульский В. К.* О магматических и гидротермальных месторождениях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 5.
- Котульский В. К.* Современное состояние вопроса о генезисе медно-никелевых сульфидных месторождений.— Сов. геология, 1948, сб. 29.
- Крейтер В. М.* Некоторые вопросы изучения структур рудных полей и месторождений.— В сб. «Геология и горное дело», № 13. М., Металлургиздат, 1947.
- Крейтер В. М., Смирнов В. И.* Некоторые задачи рудничной геологии.— Сов. геология, 1947, сб. 20.
- Кропоткин П. Н.* Тектоника, стратиграфия и металлогения Северного Казахстана.— В кн. «Тектоника СССР». Ч. 1. М., Изд-во АН СССР, 1948.
- Кротов Б. П.* Дифференциация элементов во времени при выветривании и закономерности распределения осадочных рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953₁, № 2.
- Кротов Б. П.* Вопросы металлогении регионов распространения гипергенных железорудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953₂, № 3.
- Кузнецов В. А.* Ртутные месторождения Западной Сибири.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 2.
- Кузнецов В. И.* О процессе становления гранитных пегматитов. Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1948, № 2.
- Курек Н. И.* Серицитолиты Риддерских месторождений на Алтае.— Материалы Всес. н.-и. геол. ин-та полезн. ископ., 1948, сб. 4.
- Логинов В. П.* Аллюмосиликаты Кабанского колчеданного месторождения (Средний Урал).— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1951, вып. 134.
- Магакьян И. Г.* Алавердский тип оруденения и его руды. Ереван, Изд-во АН Арм. ССР, 1947.
- Магакьян И. Г.* Главные промышленные семейства и типы руд.— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1950, ч. 79, вып. 4.
- Магакьян И. Г.* О металлогенической специализации в некоторых типах тектоно-магматических комплексов.— Записки Всес. мин. об-ва, 1952, ч. XXXI, № 3.
- Морозенко Н. К.* Хрусталеносные жилы Памира.— Сов. геология, 1946, сб. 10.
- Наковник Н. И.* Вторичные кварциты, их минеральные фации, генезис и практическое значение.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 1.
- Невский В. А.* Тектонические брекчии структур расщипывания сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии.— Докл. АН СССР, 1948, 11, № 6.
- Невский В. А.* Складчатые формы южного склона хребта Ишме.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 4.
- Нехорошев В. П.* Закономерности распределения рудных месторождений Алтая.— Сов. геология, 1948, сб. 29.
- Нечелостов Н. В.* Месторождения шеелита в Средней Азии.— Сов. геология, 1947, сб. 14—15.
- Никитин В. Д.* Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и мусковитовых пегматитах.— Записки Ленингр. горн. ин-та, 1952, 27, вып. 2.
- Николаев В. А.* О тройных системах с летучими компонентами и этапах глубинного магматического процесса.— Записки Всес. мин. об-ва, 1947, вып. 1.
- Николаев В. А.* К вопросу о генезисе гидротермальных растворов и этапах глубинного магматического процесса.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Озеров К. Н.* О роли вмещающих пород в локализации эпигенетических месторождений полезных ископаемых пневматолито-гидротермального происхождения.— Вестник Ленингр. ун-та, 1949, № 5.

- Ольшанский Я. И.* О растворимости сернистого железа в железистых силикатных расплавах.— Докл. АН СССР, 1947, 58, № 9.
- Ольшанский Я. И.* Система $FeS-FeO-SiO_2$.— Докл. АН СССР, новая серия, 1950, 70.
- Ольшанский Я. И.* Растворимость сернистого железа в силикатных расплавах.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, петрогр. серия, 1950, вып. 121.
- Орлова Е. В.* Фосфоритоносные бассейны зарубежных стран. М., Госгеолиздат, 1951.
- Островский И. А.* Диаграмма равновесных состояний в системе силикат—вода для случая ограниченной смесимости и возможное истолкование данных Горансона.— Докл. АН СССР, 1950, 22, № 3.
- Островский И. А.* Контакт искусственного водно-силикатного расплава с известняком.— Докл. АН СССР, 1951, 79, № 1.
- Островский И. А.* О различном понимании физико-химии бинарных систем с различными компонентами.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 2.
- Павлов Н. В.* Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия рудн. месторожд., вып. 103. М., Изд-во АН СССР, 1949.
- Пейве А. В., Штрейс Н. А.* О новой теории генезиса бокситов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 1.
- Пейве А. В., Сеницин В. М.* Некоторые основные вопросы учения о геосинклиналях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 4.
- Полквой О. С.* Образование жильных пород кислых интрузий (Центральный Казахстан).— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, петрогр. сер., 1950, вып. 107.
- Попов В. М.* О происхождении месторождений медистых песчаников гидротермального типа.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 5.
- Пэк А. В.* Случай ясно выраженной зависимости степени оруденения от литологического состава вмещающих пород.— В сб. «Академику Д. С. Белянкину к 70-летию со дня рождения и 45-летию научной деятельности». М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Пэк А. В.* Структура и некоторые вопросы генезиса Левихинских колчеданных месторождений на Среднем Урале.— В кн. «Колчеданные месторождения Урала». М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Пэк А. В., Лукин Л. И.* Структура и генезис месторождений Кти-Теберда (Кургашино-Чат).— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, петрогр. серия, 1947, вып. 84.
- Радкевич Е. А.* Генетические типы касситеритово-сульфидных месторождений.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия рудн. месторожд., 1951, вып. 134.
- Радкевич Е. А.* О рудах коллоидного происхождения.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 2.
- Радкевич Е. А.* К проблеме эндогенного рудообразования.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 5.
- Русинович И. А.* Геологическое строение северо-восточной полосы и генезис железных руд КМА.— Сов. геология, 1948, сб. 28.
- Сатпаев К. И.* О прогнозных металлогенических картах Центрального Казахстана.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 6.
- Сауков А. А.* Геохимия ртути.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия мин., 1946, вып. 78.
- Сауков А. А.* Геохимия. М., Госгеолиздат, 1950.
- Семеновко Н. П.* Структура рудных полей Криворожских железорудных месторождений. Киев, Изд-во АН УССР, 1946.
- Сеницин Н. М.* О региональных структурах, контролирующих ртутно-сурьмяное оруденение Южной Ферганы.— Докл. АН СССР, 1948, 59, № 3.
- Смирнов В. И.* Рудные пояса.— Труды Моск. геол.-развед. ин-та, 1947, № 1.
- Смирнов В. И.* Геология ртутных месторождений Средней Азии.— М.—Л., Госгеолиздат, 1947.

- Смирнов В. И. К вопросу об осадочном происхождении некоторых месторождений свинца и цинка.— Разведка недр, 1952, № 1.
- Смирнов С. С. Заметки по некоторым вопросам учения о рудных месторождениях.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 3.
- Смирнов С. С. Некоторые общие вопросы изучения рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 5.
- Смирнов С. С. О современном состоянии теории образования магматогенных рудных месторождений.— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1947, ч. 76, вып. 1.
- Смирнов С. С. Рецензия на книгу П. Ниггли «Систематика магматогенных рудных месторождений».— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 1.
- Смирнов С. С., Бетехтин А. Г. Успехи в области теории образования магматогенных рудных месторождений.— Юбилейн. сб., посвящен. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции. Ч. 2. М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Соболев В. С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, острова Борнео и Северной Америки. М., Госгеоллиздат, 1951.
- Соболев В. С., Флоренсов Н. А. Генезис Ботогольского графита.— Сов. геология, 1948, сб. 32.
- Соколов Г. А. Хромшпинелиды ультраосновных комплексов. (Основные черты их химического состава и классификация).— В кн. «Академику Д. С. Белянкину». М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Страхов Н. М. Железородные фации и их аналоги в истории Земли.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, геол. сер., 1947, вып. 73.
- Страхов Н. М. К вопросу об общей теории осадочного процесса.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 4.
- Страхов Н. М. Проблема распределения и накопления основных химических компонентов в осадках современных и древних водоемов.— В кн. «Совещание по осадочным породам», вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Танатар И. И. Генетические взаимоотношения Криворожских, Курских и Керченских железородных месторождений.— Научные записки Днепропетр. ун-та, 1948, 31.
- Танатар И. И. Теоретические основы учения о рудных месторождениях. Киев, Гостехиздат, 1950.
- Татаринов П. М., Бетехтин А. Г. и др. Курс месторождений полезных ископаемых. М., Гостоптехиздат, 1946.
- Татаринов П. М., Магакьян И. Г. Опыт классификации постмагматических месторождений.— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1949, ч. 78, вып. 3.
- Трофимов В. С. Ресурсы алмазов в зарубежных странах. (Мин-во геол. СССР, Глав. упр-ние геол. фондов. Мин. рес. зарубежных стран, вып. 7). М.—Л., Госгеоллиздат, 1947.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1940.
- Филимонова А. А. Опыты по нагреванию борнитсодержащих колчеданных руд.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 3.
- Хрущев Н. А. О вертикальной зональности некоторых рудных месторождений.— Записки Всес. мин. об-ва, 1953, ч. XXXII, № 1.
- Чухров Ф. В. О миграции золота в зоне окисления.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 4.
- Чухров Ф. В. О возможной роли аэрозолей, гидрозолей и гидрогелей.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 6.
- Шабунин Л. И. Два хлорита из Южной Якутии.— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1949, ч. 78, № 4.
- Шадлун Т. Н. Особенности минералогического состава, структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала.— В кн. «Колчеданные месторождения Урала». М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Шахов Ф. Н. К теории контактовых месторождений.— Труды Горно-геол. ин-та Зап.-Сиб. фил. АН СССР, вып. 1, 1947.
- Шипулин Ф. К. Третичные гранитоиды Южного Приморья и некоторые данные об их металлогении.— Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 5.

- Щербаков Д. И. О картах прогноза для магматогенных рудных месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 4.
- Юшко С. А. Применение метода отпечатков в минераграфии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 3.
- Яковлева М. Н. Экспериментальные исследования к вопросу накопления меди в осадочных породах.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1952, т. 27, вып. 6.

Пятый период, 1954—1967 гг.

- Абдуллаев Х. М. Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. М., Госгеолтехиздат, 1954.
- Альтгаузен М. Н. К вопросу о металлогенических исследованиях.— Сов. геология, 1960, № 1.
- Альтгаузен М. Н. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования. М., Атомиздат, 1965.
- Альтгаузен Н. М. Уран.— В кн. «Металлы в осадочных толщах. Благородные металлы, радиоактивные, рассеянные и редкоземельные элементы». М., изд-во «Наука», 1966.
- Амирасланов А. А. Основные типы месторождений свинца и цинка. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Андреев Ю. К. Генетические типы месторождений щелочно-амфиболовых (голубых) асбестов, как основа их поисков.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Антропов П. Я. Еще раз о некоторых положениях в геологической науке в связи с семилетним планом.— Изв. высших учебных заведений, серия геол. и разведка, 1960, № 7.
- Аристов В. В. Вопросы теоретического обоснования поисков скрытых постмагматических месторождений.— Изв. высших учебных завед., серия геол. и разведка, 1964, № 7.
- Афанасьев Г. Д. и др. Геохронологическая шкала в абсолютном летосчислении по данным лабораторий СССР на апрель 1964 г. с учетом зарубежных данных.— В сб. «Абсолютный возраст геологических формаций». М., изд-во «Наука», 1964.
- Бакуменко Н. Т. Закономерные кварц-полевошпатовые сростания в пегматитах и их генезис. М., изд-во «Наука», 1966.
- Баранов В. Д., Гармаш А. А. О возрасте и генезисе колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая.— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1967, ч. 96, вып. 2.
- Бардин И. П. (ред.). Железорудные месторождения СССР, т. 1, кн. 2. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Барсанов Г. П., Гурьева Ф. Я. О значении и методах исследования α - β -превращения природного кварца.— В кн. «Минералы СССР». М., изд-во «Наука», 1964.
- Барсуков Вал. Л., Дерюгин Н. Н. Некоторые экспериментальные данные по условиям образования данбурита и даронита.— Геохимия, 1961, № 3.
- Барсуков В. Л., Беляев Ю. И., Сергеева Ф. И., Соколова Н. Т. Об источнике некоторых компонентов, сопутствующих урану в месторождениях так называемой «пятиэлементной» формации.— Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 8.
- Белевцев Я. Н. Железные руды Криворожского железорудного бассейна. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Белевцев Я. Н. Современное состояние теории и эксперимента в учении о рудных месторождениях.— В кн. «Проблемы теории и эксперимента в рудообразовании». Киев, изд-во «Наукова думка», 1966.
- Бенеславский С. И. Минералогия бокситов. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Бетехтин А. Г. К дискуссии по вопросу об осадочном происхождении некоторых месторождений свинца и цинка.— Изв. АН СССР, серия геол., 1954, № 2.

- Бетехтин А. Г.* Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Бетехтин А. Г.* Об экзогенных процессах образования урановых месторождений.— Геол. рудн. месторожд., 1959, № 6.
- Бетехтин А. Г., Вольфсон Ф. И.* К истории развития учения о рудных месторождениях в нашей стране.— В кн. «Основные проблемы в учении об эндогенных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1955.
- Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадлун Т. Н.* Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Беус А. А.* Геохимия грейзеновых месторождений и закономерности распространения в них редких элементов.— В кн. «Геохимические циклы». М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Беус А. А., Северов Ф. А., Ситин А. А., Субботин К. Д. и др.* Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Беус А. А., Соболев Б. П.* О галоидном переносе элементов в эндогенных процессах.— В кн. «Экспериментальные исследования в области глубинных процессов». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Билибин Ю. А.* Металлогенические провинции и металлогенические эпохи М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Бобров Е. Т.* Связь коры выветривания на трапках с бокситообразованием.— В кн. «Кора выветривания», вып. 4. М., изд-во «Наука», 1962.
- Богатырев А. С.* Развитие сырьевой базы цветной металлургии.— В кн. «Развитие сырьевой базы цветной металлургии за 50 лет Советской власти». М., Цветметинформация, 1968.
- Бородавский Н. И.* Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота.— Труды ЦНИГРИ, 1960, вып. 35.
- Бородин Л. С.* О типах карбонатитовых месторождений и их связи с массивами ультраосновных щелочных пород.— Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 5.
- Бородин Л. С.* Генезис карбонатитовых месторождений и их геологическая связь с массивами ультраосновных пород.— В кн. «Генетические проблемы руд». М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Бородин Л. С.* Карбонатиты и нефелиновые сиениты. (К общей петрологии массивов ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов).— Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 8.
- Буслаев Ф. П., Овчинников Л. Н.* Об искажении значений абсолютного возраста слюд в связи с их метаморфизмом.— В кн. Вопросы датировки древнейших (катархейских) геологических образований и основных пород. М., изд-во «Наука», 1967.
- Бушинский Г. И.* О генетических типах бокситов. В кн. «Бокситы, их минералогия и генезис». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Бушинский Г. И.* Об условиях образования бокситов и о закономерностях размещения бокситовых месторождений.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Бушинский Г. И.* Карстовые бокситовые и фосфоритовые месторождения и роль карста в боксито- и фосфатонакоплении.— В кн. «Карст и его народнохозяйственное значение». М., изд-во «Наука», 1964.
- Бушинский Г. И.* Успехи изучения генезиса бокситов за последние десять лет (1955—1965 гг.).— В кн. «Генезис бокситов». М., изд-во «Наука», 1966.
- Быбочкин А. М.* Месторождения вольфрама и закономерности их размещения. М., изд-во «Недра», 1965.
- Василевский М. М.* Гидротермально измененные породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности пространственного размещения. М., изд-во «Недра», 1964.
- Вахрамеев С. А.* Месторождения полезных ископаемых, их классификация и условия образования. М., Госгеолтехиздат, 1961.

- Вахрушев В. А. Минералогия и генезис железных руд Белоречского месторождения на Алтае. Новосибирск, Изд-во Сиб. Отдел. АН СССР, 1960.
- Вахромеев И. С., Бобохов А. С. О некоторых вопросах металлогении и геологии колчеданных месторождений.— Записки Всес. мин. об-ва, 1966, ч. 95, вып. 6.
- Виноградов А. П. О происхождении вещества земной коры. Сообщение 1.— Геохимия, 1961, № 1.
- Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры.— Геохимия, 1962, № 7.
- Виноградов А. П. (ред.). Основные черты геохимии урана. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Виноградов А. П., Гриненко В. А. Причина значительной дисперсии изотопного состава осадочных сульфидов.— В кн. «Химия земной коры», т. II. М., изд-во «Наука», 1964.
- Виноградов А. П., Гриненко Л. Н. О влиянии вмещающих пород на изотопный состав серы рудных сульфидов.— Геохимия, 1964, № 6.
- Виноградов А. П., Гриненко Л. Н. Изотопный состав серы медно-никелевых месторождений и рудопроявлений Норильского района в связи с проблемами генезиса.— Геохимия, 1966, № 1.
- Виноградов В. И. Изотопный состав серы в породах и минералах Никитовского ртутного месторождения в Донбассе.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 99.
- Виноградов В. И. Изотопный состав и происхождение вулканической серы.— Геол. рудн. месторожд., 1964, № 3.
- Власов К. А. Факторы образования различных типов редкометалльных гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 1.
- Власов К. А. (ред.). Минералогия и генезис пегматитов. М., изд-во «Недра», 1965.
- Власов К. А. (ред.). Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. III. М., изд-во «Наука», 1966.
- Вольфсон Ф. И. Структуры эндогенных месторождений.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Вольфсон Ф. И. О книге В. И. Смирнова «Геология полезных ископаемых».— Записки Всес. мин. об-ва, 2 серия, 1967, ч. 96, вып. 3.
- Вольфсон Ф. И., Лукин Л. И. К вопросу о зональности эндогенного оруденения.— В сб. «Проблемы постмагматического рудообразования». Прага. Изд-во АН ЧССР, 1963.
- Вольфсон Ф. И., Лукин Л. И. Особенности локализации гидротермального оруденения в различных структурных этажах.— Изв. АН СССР, серия геол., 1965, № 10.
- Генкин А. Д. Условия нахождения и особенности состава минералов платиновой группы в рудах Норильского месторождения.— Геол. рудн. месторожд., 1959, № 6.
- Геология рудных месторождений Забайкалья. (Сб., посвящ. памяти О. Д. Левицкого). М., изд-во «Наука», 1964.
- Германов А. И. и др. Некоторые закономерности распределения урана в подземных водах.— В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Женева, 1958. Доклады советских ученых, т. 3. М., Атомиздат, 1959.
- Германов А. И. Уран в природных водах.— В кн. «Основные черты геохимии урана». М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Германов А. И. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М., изд-во «Наука», 1966.
- Гиммельфарб Б. М. Закономерности тектонического размещения фосфоритовых месторождений СССР.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1958.

- Гиммельфарб Б. М. Состояние и перспективы расширения сырьевой базы производства фосфатных удобрений на территории СССР.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 11.
- Гинзбург А. И. и др. Редкометалльные карбонаты. М., Госгеолиздат, 1958.
- Гинзбург А. И. Геохимические особенности пегматитового процесса.— В кн. «Минералогия и генезис пегматитов». М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Гинзбург А. И. Некоторые проблемы образования эндогенных редкометалльных месторождений.— Геол. рудных месторожд., 1967, № 5.
- Гинзбург А. И., Родионов Г. Г. О глубинах образования гранитных пегматитов.— Геол. рудных месторожд., 1960, № 1.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург И. И. Основные результаты изучения древних кор выветривания.— Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 12.
- Гинзбург И. И., Яшина Р. М. Экспериментальные исследования в области выветривания. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Гинзбург И. И., Росман Г. И., Муканов К. М., Борисевич И. В., Гольцман Ю. В., Иванов И. Б., Чернышов И. В. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., изд-во «Недра», 1966.
- Гладковский А. К. О закономерностях формирования и размещения месторождений бокситов на Урале и в Зауралье.— В кн. «Закономерности размещения месторождений в платформенных чехлах». М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Глебов А. В. Железо.— В кн. «Металлы в осадочных толщах». М., изд-во «Наука», 1964.
- Гворов И. Н. Грейзенизация карбонатных пород.— В сб. «Доклады сов. геологов на XXI сессии МГК. Проблема 14. Гранитогнейсы». М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Гворов И. Н. Значение геохимических исследований при изучении металлогении редких элементов.— В сб. «Материалы к I Всес. конф. по геол. и металлог. Тихоокеанского рудн. пояса». Владивосток, Примор. кн. изд-во, 1960.
- Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Годлевский М. Н. Металлогенические провинции медно-никелевого оруденения.— Сов. геология, 1961, № 3.
- Годлевский М. Н. О дифференциальной подвижности компонентов при формировании сульфидных медно-никелевых руд.— Геол. рудн. месторожд., 1967, № 2.
- Горбунов Г. И. Минералого-геохимические особенности сульфидных медно-никелевых руд Печенги.— В кн. «Материалы по минералогии Кольского полуострова», т. IV. М.—Л., изд-во «Наука», 1965.
- Горецкий Ю. К. Закономерности размещения и условия образования основных типов бокситовых месторождений.— Труды ВИМС, 1960, вып. 5.
- Горжевский Д. И., Козоренко В. Н. О некоторых закономерностях размещения полиметаллических и редкометалльных провинций.— Докл. АН СССР, 1956, 107, № 5.
- Готман Я. Д. Осадочные месторождения урана.— В кн. «Геология, поиски и разведка месторождений урана. Руководство для геологов», ч. 1. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Готман Я. Д., Зубрев И. Н. Генетическая классификация урановых месторождений.— Сов. геология, 1963, № 3.
- Григорьев Ив. Ф., Доломанова Е. И. Геолого-минералогические особенности месторождений касситерито-кварцевой формации Вост. Забайкалья, залегающих в контактах карбонатных пород и гранитов.— Труды Моск. геол.-развед. ин-та, 28, 1955.
- Григорьев Ив. Ф., Доломанова Е. И. Генетические типы оловорудных месторождений Забайкалья.— Труды Моск. геол.-развед. ин-та, 29, 1956.

- Грушкин Г. Г. Некоторые закономерности образования флюоритовых месторождений Чаткальского и Кураминского рудных районов.— Геол. рудных месторожд., 1961, № 1.
- Данчев В. И. и др. Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах.— Геол. рудных месторожд., 1959, № 6.
- Данчев В. И., Стрелянов Н. П., Шиловский П. П. Образование экзогенных месторождений урана и методы их изучения. М., Атомиздат, 1966.
- Джездалов А. Т. О закономерностях распределения железорудных месторождений в Саксаганском районе Кривого Рога.— Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 2.
- Джездалов А. Т. О генезисе богатых железных руд Саксаганской полосы Кривого Рога.— Геол. рудных месторожд., 1964, № 2.
- Домарев В. С. Геология урановых месторождений капиталистических стран. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Домарев В. С. К вопросу об основных направлениях изучения процессов образования рудных месторождений.— Сов. геология, 1966, № 5.
- Дружинин А. В. Роль дорудных даек и ксенолитов древних пород в распределении минерализации.— Изв. высших учебных завед., серия геол. и разв., 1958, № 4.
- Дымкин А. М. Петрология и генезис магнетитовых месторождений Тургая, Новосибирск, 1966.
- Евсеева Л. С., Перельман А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М., Госатомиздат, 1962.
- Егоров О. П. Генетические типы фосфоритов Западного Прибайкалья.— Геол. и геофиз., 1960, № 7.
- Елисеев Н. А. Генезис сульфидных медно-никелевых месторождений.— Вестник ЛГУ, серия геол. и географ., 1958, № 24, вып. 4.
- Ермаков Н. П. Состояние деятельности флюидов в гранитных пегматитах камерного типа.— В кн. «Минералогия и генезис пегматитов».— В сб. «Доклады сов. геологов на XXII сессии МГК». М., изд-во «Недра», 1965.
- Жариков В. А. Геология и метасоматические явления скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 14.
- Жариков В. А. Исследования по теории образования скарновых месторождений.— В сб. «Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ за 1958—1959 гг.». М., 1960.
- Жариков В. А. К развитию теории процессов скарнообразования.— Геол. рудных месторожд., 1965, № 4.
- Жилинский Г. Б., Сатпаев К. И. Металлогения Казахстана.— В кн. «Вопросы геологии Казахстана». Алма-Ата, 1964.
- Заридзе Г. М. О роли вулканизма в эндогенной минерализации на примере некоторых месторождений Кавказа.— Изв. высших учебных завед., геол. и развед., 1965, № 4.
- Заридзе Г. М. Типы эндогенных геологических формаций. Тбилиси, изд-во «Ганатлеба», 1966.
- Захаров Е. Е. О некоторых закономерностях в регионально-геологическом размещении месторождений черных и цветных металлов.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Захаров Е. Е. О некоторых вопросах классификации рудных месторождений.— Сов. геология, 1965, № 9.
- Захаров Е. Е. Об истории организации и развития геологических специальностей в высших учебных заведениях СССР.— Изв. высших учебных завед., геол. и развед., 1968, № 10.
- Зеленов К. К. Вынос растворенного алюминия термальными водами Курильской гряды и некоторые вопросы образования геосинклинальных месторождений бокситов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 3.
- Зеленов К. К. Алюминий и титан в кратерном озере вулкана Кава Иджен (Индонезия).— Изв. АН СССР, серия геол., 1965, № 5.

- Зонтов Н. С.* Геологическая структура жильного медно-никелевого месторождения Северного мыса горы Рудной (Норильский район).— Геол. рудн. месторожд., 1959, № 5.
- Иванов В. В.* Минералого-геохимические черты и индиенность оловорудных месторождений Якутии. М., изд-во «Наука», 1964.
- Ицксон М. И.* Распределение оловорудных месторождений в складчатых областях.— Сов. геол., 1958, № 1.
- Ицксон М. И.* Главнейшие черты металлогении Тихоокеанского рудного пояса в пределах СССР.— В сб. «Геология и металлогения советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Казанский В. И.* О размещении верхнепалеозойских гранитоидных интрузий и очертаниях рудоносных площадей в Тихоокеанском рудном поясе.— Геол. рудных месторожд., 1961, № 4.
- Казанский Ю. П.* Верхнемеловая оолитовая железорудная формация Центрального Приобья.— В сб. «Доклады сов. геологов на 21 сессии МГК. Проблема 20». М., 1960.
- Казаринов В. П.* Западно-Сибирская низменность — новая рудная провинция Советского Союза.— Сов. геология, 1958, № 9.
- Калганов М. И.* Железорудный бассейн Курской магнитной аномалии.— В кн. «Железорудные кварциты Курской магнитной аномалии». М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Калгиш Д. П.* О магнетит-карбонатных рудах в толще железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (КМА).— Геол. рудных месторожд., 1959, № 2.
- Капустин Ю. Л.* Редкометалльная минералогия карбонатитов Кольского полуострова.— Труды ИМГРЭ, 1964, вып. 19.
- Карпова Е. Д., Иващенко А. Г.* Скарны.— В кн. «Измененные околорудные породы и их поисковое значение». М., Госгеолиздат, 1954.
- Кигаи И. Н.* Лифудзинское оловорудное месторождение и некоторые вопросы гидротермального минералообразования. М., изд-во «Наука», 1966.
- Князев Г. И., Сейфуллин Р. С.* К проблеме гидротермального сульфидного рудообразования.— Геол. и геофиз., 1966, № 4.
- Козлов Е. К.* Закономерности размещения сульфидных медно-никелевых месторождений на территории Кольского полуострова.— В кн. «Металлогения докембрийских шитов и древних подвижных зон». Киев, 1960.
- Константинов М. М.* Происхождение стратифицированных месторождений свинца и цинка. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Константинов Р. М.* Методы изучения и критерии выделения магматогенных рудных формаций при крупномасштабных металлогенических исследованиях (на примере Восточного Забайкалья).— В кн. «Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока». М., изд-во «Наука», 1966.
- Конференция* «Проблемы постамагматического рудообразования», т. I, 1963; т. II, 1965. Прага, Изд-во АН ЧССР.
- Коржинский Д. С.* По вопросу геологии Криворожского железорудного бассейна.— В кн. «Геология и генезис руд Криворожского железорудного бассейна». Киев, 1955.
- Коржинский Д. С.* Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М., Изд-во АН СССР, 1957.
- Коржинский Д. С.* Режим кислотности постамагматических растворов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 12.
- Коржинский Д. С.* Гидротермальная кислотно-щелочная дифференциация горных пород.— Докл. АН СССР, 1958, 122, № 28.
- Коржинский Д. С.* Общие закономерности постамагматических процессов.— В кн. «Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании». М., изд-во «Недра», 1966.
- Королев А. В.* Эндогенное рудообразование в развитии земли.— Труды Среднеаз. политехн. ин-та, вып. 6, новая серия. Изд. Акад. наук Узб. ССР, Ташкент, 1959.

- Королев А. В., Шехтман П. А.* Постмагматические рудные тела и методы их геологического анализа. М., Госгеолтехиздат, 1954.
- Королев А. В., Шехтман П. А.* Структурные условия размещения послемагматических руд. М., изд-во «Недра», 1965.
- Котляр В. Н.* О формах связи оруденения с интрузиями магматических комплексов.— Труды Моск. ин-та цвет. мет. и золота им. Калинина, 1955, № 25.
- Котляр В. Н.* О магматических комплексах и оруденении.— Сов. геология, 1955, сб. 43.
- Котляр В. Н.* Экструзивы, эффузивы и оруденение.— Изв. высших учебных завед., геол. и развед., 1960, № 9.
- Котляр В. Н.* Геология месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Котляр В. Н.* Типы месторождений, связанные с палеовулканизмом.— Материалы межвед. совещ. по проблеме «Рудоносность вулканогенных формаций». М., изд-во «Недра», 1965.
- Котляр В. Н., Фаворская М. А.* О взаимоотношениях некоторых типов оруденения с эффузивными формациями. Вопросы вулканизма.— Труды Первого Всес. вулканолог. совещ. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Кравченко Г. Г.* К вопросу о структурных условиях формирования хромитовых месторождений Кемпирсайского массива.— Геол. рудных месторожд., 1962, № 4.
- Красильникова Н. А., Смирнов А. И.* Вторичное обогащение фосфоритовых залежей в континентальных условиях.— Бюлл. НТИ. Мин-во геол. и охраны недр, 1958, № 5 (17).
- Крейтер В. М.* Структуры рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Крейтер В. М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, ч. I, 1960; ч. II, 1961. М., Госгеолтехиздат.
- Кристалный Б. В.* К вопросу об источнике Са для скарнообразования на месторождении Чорух-Дайрон (Тадж. ССР).— Изв. АН СССР, серия геол., 1966, № 10.
- Кротов Б. П.* Генезис Аятского месторождения.— В кн. «Оолитовые бурые железняки Кустанайской обл. и пути их использования». М., СОПС АН СССР, 1956.
- Кротов Б. П.* К вопросу о генезисе нижнемеловых месторождений бокситов на Урале.— В кн. «Бокситы, их минералогия и генезис». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Кротов Б. П.* Дифференциация элементов при выветривании. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Кузьмина И. Н.* Экспериментальное изучение образования PbS и ZnS в водных растворах хлористых солей.— Геол. рудных месторожд., 1961, № 1.
- Кузнецов В. А.* Генетические группы и формации эндогенных рудных месторождений и их значение для металлогенического анализа.— В кн. «Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока». М., изд-во «Наука», 1966.
- Кузнецов К. Ф. и др.* Закономерности распределения редких элементов в полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья.— В кн. «Вопросы изучения минералогии, геохимии и генезиса месторождений редких элементов», вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Кузнецов К. Ф., Мейтув Г. М.* Геохимия редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. М., Изд-во «Наука», 1967.
- Кузнецов Ю. А.* Главные типы магматических формаций. М., Изд-во «Недра», 1964.
- Кухаренко А. А., Донцова Е. И.* К проблеме генезиса карбонатитов.— Геол. рудных месторожд., 1962, № 2.
- Кушнарв И. П.* Глубина формирования эндогенных месторождений Кураминской структурно-фациальной зоны и роль эрозионного среза в их размещении.— Геол. рудных месторожд., 1961, № 6.
- Лабазин С. Г.* О закономерностях размещения полиметаллических месторож-

- дений Вост. Забайкалья в связи с его геологическим строением.— Записки Всес. мин. об-ва, 1958, вып. 5.
- Лаверов Н. П., Беликов Б. П., Иванов И. В.* Об абсолютном возрасте интрузивных пород и верхней возрастной границе магматизма в юго-западных отрогах Северного Тянь-Шаня.— Изв. АН СССР, серия геол., 1964, № 10.
- Лазаренко Е. К.* Успехи минералогии в СССР за 50 лет Советской власти.— Записки Всес. мин. об-ва, 1967, ч. 96, вып. 5.
- Левицкий О. Д., Смирнов В. И.* Значение первичной зональности для поисков рудных тел гидротермального происхождения, не выходящих на поверхность.— Сов. геология, 1959, № 2.
- Левченко С. В.* Бокситы.— В кн. «Успехи в изучении главнейших осадочных полезных ископаемых в СССР». М., изд-во «Наука», 1967.
- Лисицина Г. А., Омельяненко Б. И.* Инфильтрационная метасоматическая зональность в грейзенах, связанных с алякситовыми гранитами Кураминского хребта (Средняя Азия).— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 2.
- Лисицина Н. А., Пастухова М. В.* Структурные типы мезокайнозойских бокситов Казахстана и Западной Сибири.— Труды ГИН АН СССР, 1963, вып. 95.
- Лисицина Н. А., Пастухова М. В.* К вопросу о генезисе латеритовых и латеритно-осадочных бокситов.— В кн. «Латериты». М., изд-во «Недра», 1964.
- Лисицин А. К., Кузнецова Э. Г.* О роли микроорганизмов в образовании восстановительных геохимических барьеров на выклинивании зон пластовой лимонитизации.— Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 1.
- Листова Л. П.* Физико-химические исследования условий образования окисных и карбонатных руд марганца. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Лицарев М. А.* Генезис флюопитовых месторождений Алдана.— Труды ИГЕМ, 1961, вып. 67.
- Лялин П. В.* Взаимоотношения рудных жил с тектоническими нарушениями медно-никелевого месторождения.— Сов. геология, 1956, сб. 53.
- Магакьян И. Г.* Рудные месторождения. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Магакьян И. Г.* Рудные месторождения. (Промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых). 2-е изд. Ереван, Изд-во АН Арм. ССР, 1961.
- Магакьян И. Г.* Опыт классификации рудных формаций СССР.— Геол. рудных месторожд., 1967, № 5.
- Максимов А. Л.* Германий в железо-марганцевых месторождениях Центрального Казахстана.— Изв. Высших учебных завед., геол. и развед., 1958, № 1.
- Малиновский Е. П.* Структурные условия формирования жильных вольфрамитовых месторождений. М., изд-во «Наука», 1965.
- Малышев И. И.* Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Материков М. П.* Генетические группы и формации оловорудных месторождений.— Сов. геология, 1964, № 11.
- Мелентьев Б. Н., Иваненко В. В., Памфилова Л. А.* Исследование растворимости сфалерита в водных растворах различной кислотности.— Докл. АН СССР, 1965, 161, № 3.
- Мелков В. Г., Пухальский Л. Ч.* Поиски месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Мерабишвили М. С. и др.* Состояние и перспективы освоения бентонитовых глин главнейших месторождений СССР.— Геол. сб. Кавказ. ин-та мин. сырья, 1962, № 2.
- Момджи Г. С., Григорьев В. М.* Германий в железных рудах.— В кн. «Геология месторождений редких элементов», вып. 5. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Мясников В. С.* Некоторые особенности месторождений титаномагнетитовых руд Южного Урала и проявление в них метаморфизма.— Геол. рудных месторожд., 1959, № 2.
- Набоко С. И.* Гидротермальный метаморфизм пород в вулканогенных областях. М., Изд-во АН СССР, 1963.

- Набоко С. И.* Химизм реальных минералообразующих растворов.— Геол. и геофиз., 1968, № 3.
- Наковник Н. И.* Грейзены.— В кн. «Измененные околорудные породы и их поисковое значение». М., Госгеолтехиздат, 1954.
- Наковник Н. И.* Вторичные кварциты.— В кн. «Измененные околорудные породы и их поисковое значение». М., Госгеолтехиздат, 1954.
- Наковник Н. И.* Вторичные кварциты СССР. М., изд-во «Недра», 1964.
- Наследов Б. Н.* Металлогения Западного Тянь-Шаня и Узбекистана. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Невский В. А.* Некоторые вопросы генезиса ртутных, сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Южной Ферганы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 5.
- Недоумов И. Б.* Особенности генезиса редкометалльных пегматитов одного из полей Сибири.— Труды ИМГРЭ, 1962, вып. 8.
- Некрасов З. А.* К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях.— В кн. «Вопросы геологии урана». М., Атомиздат, 1957.
- Никитин В. Д.* К теории генезиса пегматитов.— Записки Ленингр. Горн. ин-та, 1955, 30.
- Никитин В. Д.* Современное состояние учения о процессах и условиях формирования пегматитов.— Записки Ленингр. Горн. ин-та, 1959, 11.
- Никитин В. Д.* Генезис слюдоносных зон в телах гигантомигматитов.— В кн. «Минералогия и генезис пегматитов». М., изд-во «Недра», 1965.
- Никифоров Н. А.* Значение литологических и геолого-структурных факторов в размещении ртутно-сурьмяного оруденения на месторождениях Южной Ферганы.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Никольский И. Л.* Геология ртутных месторождений центрального района Донецкого бассейна.— Труды Донецк. индустр. ин-та, 1959.
- Николаев В. А.* О закономерностях развития структурно-фациальных зон в подвижных поясах земной коры.— Сов. геология, 1944, сб. 1.
- Николаев В. А.* О процессах осмотической дистилляции и растворения газовой фазы в силикатных системах.— Записки Всес. мин. об-ва, 1955, № 4.
- Никонов А. А.* К вопросу о характере накопления меди в пермских осадках.— Пробл. сов. геологии, 1937, № 2.
- Обручев В. А.* Рудные месторождения. 2-е изд. М., Горгеонефтеиздат, 1954.
- Овчинников Л. Н.* Некоторые вопросы магматондного рудообразования.— Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 4.
- Овчинников Л. Н.* Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала.— Труды Горно-геол. ин-та УФАН СССР, 1960, вып. 39.
- Овчинников Л. Н.* Механизм и термодинамические условия магматогенного рудообразования.— Геол. рудных месторожд., 1967, № 5.
- Одинцов М. М.* Материалы по геологии и алмазности Сибирской платформы.— Труды Вост.-Сиб. фил. АН СССР, серия геол., 1958, вып. 14.
- Одинцов М. М., Владимиров Б. М.* Некоторые общие закономерности пространственного размещения кимберлитов и алмазных месторождений в земной коре.— В кн. «Вопросы генезиса и закономерности размещения эндогенных месторождений». М., изд-во «Наука», 1966.
- Озерова Н. А.* Первичные ореолы рассеяния ртути.— Труды ИГЕМ АН СССР, М., 1962, вып. 72.
- Ольшанский Я. И., Иваненко В. В.* Механизм переноса веществ при образовании гидротермальных месторождений сульфидов.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1958, вып. 16.
- Онтоев Д. И.* Некоторые данные по геологии и зональности оруденения Хапчерангинского месторождения (Восточное Забайкалье).— Геол. рудных месторожд., 1960, № 5.
- Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Павлов Н. В.* Вопросы генезиса эндгенных магнетитовых месторождений Сибирской платформы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 9.

- Павлов Н. В.* Магномангнетитовые месторождения района Тунгусской синеклизы Сибирской платформы.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1961, вып. 52.
- Павлов Н. В., Чупрышина И. И.* Некоторые итоги изучения процессов формирования хромитовых месторождений Кемпирсайского ультраосновного массива.— Изв. АН СССР, серия геол., 1966, № 1.
- Перельман А. И.* Эндогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования. М., Атомиздат, 1965.
- Петров В. П.* О минеральном составе и генезисе бокситов.— Геол. рудных месторожд., 1962, № 4.
- Петров В. П.* Основы учения о древних корях выветривания. М., изд-во «Недра», 1967.
- Петровская Н. В.* Значение продуктивных минеральных ассоциаций для поисков и разведки золоторудных месторождений.— Разведка и охрана недр, 1955, № 2.
- Петровская Н. В.* О продуктивных минеральных ассоциациях в золоторудных месторождениях.— Записки Всес. мин. об-ва, 1955, ч. 84, вып. 3.
- Петровская Н. В.* О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация».— Геол. рудных месторожд., 1967, № 2.
- Петровская Н. В., Бернштейн П. С., Мирчинк С. Г., Андреева М. Г.* Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье).— Труды ЦНИГРИ, 1961, вып. 45.
- Плаксенко Н. А.* О двух генетических группах железистых кварцитов Курской серии КМА.— Труды Воронежск. ун-та, т. 62, 1963.
- Плотников И. И., Миловидов Е. Д.* О генезисе уральских бокситовых месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 5.
- Повилайтис М. М.* К изучению особенностей молибдено-вольфрамовых месторождений, возникших в разной геологоструктурной обстановке.— В кн. «Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений». Изд-во Ленингр. ун-та, 1967.
- Пожарицкий Л. К., Эпштейн Е. М.* Петрохимические особенности процесса формирования карбонатитов.— В сб. «Происхождение щелочных пород». М., Изд-во «Наука», 1964.
- Покалов В. Т.* Условия образования эндогенных месторождений молибдена в СССР. М., 1964.
- Попов В. М.* Пластовые месторождения цветных металлов и вопросы их генезиса.— В сб. «Доклады сов. геологов на XXII сессии МГК. Проблема генезиса руд». М., изд-во «Недра», 1964.
- Поспелов Г. Л.* Геологические предпосылки к физике рудоконтролирующих флюидопроводников.— Геол. и геофиз., 1963, № 3 и 4.
- Поярков В. Э.* Сурьма и ртуть. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 5. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Поярков В. Э.* Классификация геологических типов ртутных и сурьмяных месторождений. Разведка и охрана недр, 1962, № 11.
- Проблемы тектоно-физики. (Труды I Всес. тектоно-физ. сов., 1957 г.). М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Пустовалов Л. В.* Краткая характеристика главнейших типов осадочных железных руд.— В кн. «Железородная база черной металлургии СССР». М., Изд-во АН СССР, 1957.
- Пустовалов Л. В. (ред.)*. Металлы в осадочных толщах. Черные металлы. Цветные легкие металлы. М., изд-во «Наука», 1964.
- Пустовалов Л. В. (ред.)*. Металлы в осадочных толщах. Тяжелые цветные металлы. Малые и редкие металлы. М., изд-во «Наука», 1965.
- Пустовалов Л. В. (ред.)*. Металлы в осадочных толщах. Благородные металлы. Радиоактивные, рассеянные и редкоземельные элементы. М., изд-во «Наука», 1966.
- Пэк А. В.* Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырнауз. М., Изд-во АН СССР, 1962.

- Радкевич Е. А.* Металлогения Южного Приморья. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Радкевич Е. А.* О типах вертикальной и горизонтальной зональности.— Сов. геология, 1959₁, № 9.
- Радкевич Е. А.* К вопросу о типах металлогенических провинций и рудных районов.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959₂.
- Радкевич Е. А.* О соотношении крупных и мелких разрывных нарушений.— В кн. «Проблемы тектонофизики». М., Госгеолтехиздат, 1960₁.
- Радкевич Е. А.* К вопросу о типах рудоносных территорий.— В кн. «Прикладная геология. Вопросы металлогении». М., Госгеолтехиздат, 1960₂.
- Радкевич Е. А.* Геология свинцово-цинковых месторождений Приморья, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1960₃.
- Радкевич Е. А.* Геология и металлогения советского сектора Тихоокеанского рудного пояса (Материалы конференции). М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Радкевич Е. А.* К вопросу о классификации послемагматических месторождений и принципах выделения рудных формаций.— В кн. «Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока». М., изд-во «Наука», 1966.
- Рахманов В. П.* Богатые железные руды коры выветривания КМА. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Резников И. П.* К вопросу о генезисе Удоканского месторождения.— Литол. и полезн. ископ., 1965, № 2.
- Роговер Г. Б.* Месторождение Норильск I, некоторые его особенности, могущие иметь поисковое значение и рациональная методика его разведки. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Рожков И. С.* Размещение древних ископаемых россыпей и факторы, контролирующие их образование.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. III. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Рожкова Е. В. и Щербак О. В.* Сорбция свинца на различных горных породах и возможная ее роль в образовании месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 2.
- Ронов А. Б., Мигдасов А. А.* Основные черты геохимии элементов гидролизаторов в процессах выветривания и осадконакопления.— Геохимия, 1965, № 2.
- Руденко С. А.* Основные закономерности процесса формирования пегматитовых пород и пегматитов в щелочных массивах. В кн.: «Минералогия и генезис пегматитов». Доклады сов. геологов на XXII сессии МГК. М., изд-во «Недра», 1965.
- Рундквист Д. В., Чистяков Н. Е.* О берилл-флюорит-мусковитовом типе минерализации.— Геол. рудных месторожд., 1960, № 2.
- Сапожников Д. Г.* К теории прогноза осадочных рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Сахаров М. С.* Метаморфические апатитоносные породы архея Южного Прибайкалья.— В кн. «Геология горнохимического сырья». М., Госхимиздат, 1955.
- Свирский М. А.* К дискуссии о книге П. М. Татарнинова «Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых».— Записки Всес. мин. об-ва, вторая серия, 1966, ч. 95, вып. 6.
- Семенов А. И.* Некоторые вопросы металлогении урана.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Семенов А. И.* О типах металлогенических провинций в складчатых областях СССР.— Геол. рудных месторожд., 1963, № 4.
- Сердюченко Д. П.* Девонская железорудно-бокситовая оолитовая формация.— В кн. «Очерки осадочных месторождений полезных ископаемых». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Сердюченко Д. П.* Генетические типы осадочно-метаморфических железных руд в докембрийских толщах земли.— В кн. «Прикладная геология». М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Сердюченко Д. П., Глебов А. В., Павлов В. А.* Людвигитовая минерализация и парагенезис в древних платформах.— М., Изд-во АН СССР, 1963.

- Сердюченко Д. П., Глебов А. В. Железо.*— В кн. «Металлы в осадочных толщах. Черные металлы. Цветные легкие металлы». М., изд-во «Наука», 1964.
- Серпухов В. И.* Общие принципы регионального металлогенического анализа.— Сов. геология, 1955, сб. 43.
- Сидоренко А. В.* Советская геология за 50 лет.— Сов. геология, 1967, № 10.
- Синицын Н. М.* О возрасте ртутно-сурьмяного оруденения Западного Тянь-Шаня.— Сов. геология, 1959, № 2.
- Скрипченко Н. С.* Вулканогенно-осадочное рудообразование. М., изд-во «Недра», 1966.
- Смирнов А. А., Щербаков А. В.* Методические указания по интерпретации и проверке радиогидрогеологических аномалий с целью поисков урановых месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Смирнов А. И.* К вопросу о генезисе фосфоритов.— Докл. АН СССР, 1958, 119, вып. 4.
- Смирнов А. И.* Новые данные по элементарному составу фосфоритов бассейна Кара-Тау.— Докл. АН СССР, 1959, 125, вып. 1.
- Смирнов В. И.* (ред.). Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. статей. М., ИЛ, 1954.
- Смирнов В. И.* Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М., Изд-во МГУ, 1954.
- Смирнов В. И.* Опыт металлогенического районирования территории СССР.— Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 4.
- Смирнов В. И.* Очерки металлогении. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., изд-во «Недра», 1965.
- Смирнов С. С.* Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Сморчков И. Е., Цейтлин С. Г., Батырева Н. Н.* О формах нахождения урана в гранитоидных породах Курминской зоны (Средн. Азия).— Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 99.
- Соболев В. С.* Условия образования месторождений алмазов.— Геол. и геофиз., 1960, № 1.
- Соколов Н. Т., Королев В. В.* Околожилльные изменения кварцевых порфиров, связанные с редкометальным оруденением.— Геохимия, 1959, № 8.
- Соколов А. С.* Геологические закономерности строения и размещения месторождений самородной серы.— Труды Гос. научно-исслед. ин-та горнохим. сырья, 1959, вып. 5.
- Соколов Г. А.* О генезисе руд Кривого Рога.— В кн. «Геология и генезис руд Криворожского железорудного бассейна». Киев, Изд-во АН УССР, 1957.
- Соколов Г. А.* Геология, закономерности состава и вопросы генезиса магнетитовых месторождений Тургайского прогиба.— Труды Кустанайской объедин. науч. сессии АН СССР и АН Каз. ССР, т. 2. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1958.
- Соколов Г. А.* Основные геологические закономерности распределения железа рудных месторождений различных генетических типов в СССР.— В сб. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Соколов Г. А.* Некоторые проблемы эндогенного рудообразования и пути дальнейших исследований.— Геол. рудных месторожд., 1961, № 5.
- Соколов Ю. М., Мануйлова М. М., Великославинский Д. А.* Закономерности пространственного размещения и некоторые вопросы генезиса слюдоносных, керамических и редкометальных пегматитов Северо-Байкальского нагорья.— В сб. «Минералогия и генезис пегматитов». (Доклады сов. геологов на XXII сессии МГК). М., изд-во «Недра», 1965.
- Соловкин А. Н.* Железные руды.— В кн. «Успехи в изучении главнейших осадочных полезных ископаемых в СССР». М., изд-во «Наука», 1967.
- Соловьев А. П.* Классификация ореолов рассеяния рудных месторождений.— В сб. «Глубинные поиски рудных месторождений». М., Госгеолтехиздат, 1963.

- Страхов Н. М.* Основы теории литогенеза, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Страхов Н. М.* Основы теории литогенеза, т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Страхов Н. М.* Основы теории литогенеза, т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Страхов Н. М.* О значении титанового модуля для познания генезиса бокситов.— Литол. и полезн. ископ., 1963, № 2.
- Суражский Д. Я.* Генетические типы промышленных месторождений урана.— Атом. энергия, 1956, № 2.
- Суражский Д. Я.* Методы поисков и разведки месторождений урана. М., Атомиздат, 1960.
- Суслов А. Т.* Марганец.— В кн. «Металлы в осадочных толщах. Черные металлы. Цветные легкие металлы». М., изд-во «Наука», 1964.
- Сухарина А. Н., Сажин А. И., Спандерашвили Г. И.* Горношорский фосфоритоносный район.— Разведка и охрана недр, 1961, № 2.
- Тагеева Н. В.* Некоторые результаты экспериментальных исследований формирования химического состава подземных вод.— В сб. «Совещание по вопросам формирования подземных вод». М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Талдыкин С. И.* Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Татаринов П. М.* Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Татаринов П. М. (ред.) и др.* Общие принципы регионального металлогенического анализа и методика составления металлогенических карт для складчатых областей. Сб. статей. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Татаринов П. М.* Курс месторождений полезных ископаемых. Изд. 3, доп. М., изд-во «Недра», 1964.
- Твалчрелидзе Г. А.* К вопросу о региональной зональности рудных месторождений.— В сб. «Конференция по проблемам постмагматического рудообразования», т. 1. Прага, Изд-во АН ЧССР, 1963.
- Теодорович Г. И.* Осадочные минералого-геохимические фации.— В кн. «Вопросы минералогии осадочных образований», кн. 3—4. Львов, Изд-во Львовского ун-та, 1956.
- Томсон И. Н., Константинов Р. М., Полякова О. П.* О генетических типах рудных формаций Забайкалья.— Геол. рудных месторожд., 1964, № 2.
- Точилин М. С.* Происхождение железистых кварцитов. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Трофимов В. С.* Некоторые закономерности размещения алмазных месторождений на Сибирской платформе.— Труды Якутск. фил. СО АН СССР, 1961, вып. 6.
- Трофимов В. С.* Условия образования и закономерности распространения алмазов в кимберлитах.— Геол. рудных месторожд., 1963, № 2.
- Тугаринов А. И.* О причинах формирования рудных провинций.— В кн. «Химия земной коры», т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Ушатинский И. Н.* О минеральном составе главных бокситовых месторождений мира, происхождении и изменении глиноземных минералов и бокситов.— Труды Ин-та геол. Уральск. фил. АН СССР, 1964, вып. 64.
- Федорчук В. П.* О тектоно-металлогенической провинции ртутно-сурьмяных поясов и зон.— В кн. «Тектоника, магматизм и закономерности размещения рудных месторождений». М., изд-во «Наука», 1964.
- Филлимонова А. А.* О структурах распада твердых растворов в рудах, подвергавшихся метаморфизму.— Геол. рудных месторожд., 1959, № 3.
- Формозова Л. Н.* Железные руды северного Приаралья.— Труды Геол. ин-та АН СССР, 1959, вып. 20.
- Фролов А. А.* Некоторые вопросы детального геолого-структурного изучения карбонатитов.— Геол. рудных месторожд., 1960, № 5.
- Хитаров Н. И., Лебедев Е. Б., Лебедева Р. В.* Экспериментальные данные по характеристике образования скарнов, содержащих волластонит.— В кн. «Экспериментальные исследования в области глубинных процессов». М., Изд-во АН СССР, 1962.

- Хитаров Н. И., Арутюнян Л. А., Лебедев Е. Б.* Экспериментальное исследование выноса молибдена из гранитного расплава под давлением воды до 3000 атм.— *Геохимия*, 1967₁, № 8.
- Хитаров Н. И., Кадик А. А., Лебедев Е. Б.* Основные закономерности расплаво-гранитного состава.— *Геохимия*, 1967₂, № 11.
- Холодов В. Н.* Об эпигентической зональности уранового оруденения в нефтеносных карбонатных породах.— *Изв. АН СССР, серия геол.*, 1961, № 11.
- Хрущев Н. А.* Классификация месторождений молибдена.— *Геол. рудных месторожд.*, 1959, № 6.
- Ченцов И. Г.* Вопросы минералогии и геохимии некоторых осадочных урановых рудопроявлений.— *Труды ИГЕМ АН СССР*, 1959, вып. 28.
- Чернышов В. Ф.* Структурные особенности локализации известковых скарнов.— *Геол. рудных месторожд.*, 1961, № 3.
- Чухров Ф. В.* Минералогия и зональность Восточного Коунрада. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Чухров Ф. В.* О возможном влиянии вадозных вод на минерализацию некоторых гидротермальных месторождений.— *Геол. рудных месторожд.*, 1964, № 1.
- Шабынин Л. И.* О контактово-метасоматических месторождениях бора в магнетитовых скарнах.— *Геол. рудных месторожд.*, 1961, № 3.
- Шаталов Е. Т.* Металлогенические исследования рудных районов.— *Вестник АН СССР*, 1958, № 9.
- Шаталов Е. Т.* О металлогеническом районировании.— *Геол. рудных месторожд.*, 1959, № 3.
- Шаталов Е. Т.* Методические основы составления металлогенических и прогнозных карт рудных районов.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Шатский Н. С.* Фосфоритовые формации и классификация фосфоритовых залежей.— *Труды Совещ. по осадочным породам*, 1955, вып. 2.
- Шатский Н. С. (ред.)*. Закономерности размещения полезных ископаемых, т. IV. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Шахов Ф. Н.* Принципы систематики эндогенных рудных месторождений.— *Геол. и геофиз.*, 1962, № 10.
- Шейнман Ю. М.* О тектонических условиях магнообразования.— В кн. «Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород». М., изд-во «Наука», 1966.
- Шипулин Ф. К.* О значении газовой-жидкой включений для расшифровки интрузивного процесса.— *Докл. АН СССР*, 1959, 89, № 1.
- Шипулин Ф. К.* Некоторые вопросы генезиса гидротермального сульфидного оруденения ассоциированного с самостоятельными малыми интрузиями.— *Геол. рудных месторожд.*, 1963, № 2.
- Щербаков Д. И. (ред.)*. Геология гидротермальных урановых месторождений. М., изд-во «Наука», 1966.
- Щерба Г. Н.* Формирование редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1960.
- Щербин С. С.* О соотношениях тантала и бериллия в некоторых пегматитовых телах.— *Геол. рудных месторожд.*, 1962, № 2.
- Щеглов А. Д.* К вопросу о классификации вольфрамовых месторождений.— *Труды ВСЕГЕИ*, 1964.
- Эндогенные рудные формации Сибири. М., изд-во «Наука», 1966.
- Эффективность геохимических методов поисков рудных месторождений и широкое внедрение их в практику геологической службы СССР.— *Материалы к Всес. семинару*. М., изд-во «Недра», 1967.
- Якжин А. А.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Якжин А. А.* Поиски и разведка урановых месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1961.

- Яковлев П. Д., Оленин В. В., Котляр В. Н. Структурные типы рудных полей и месторождений, связанных с вулканическими жерлами и трубками взрыва.— Материалы межвед. совещ. по пробл. «Рудоносность вулканогенных формаций». М., изд-во «Недра», 1965.
- Яницкий А. Л. Олигоценовые оолитовые руды Северного Тургая и их генезис.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1960, вып. 37.
- Янин А. Л. О глубине солеродных бассейнов и некоторых вопросах формирования мощных соляных толщ.— Геол. и геоф., 1961, № 1.
- Янин А. Л. Перспективы и научные проблемы поисков калийного и фосфатного сырья в Сибири.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1964, 5.
- Янишевский Е. М., Григорян С. В., Баранов Ф. Н., Вертепов Г. И., Каблучков А. Д. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Первый период, 1917—1928 гг.	10
Магматические месторождения	20
Пегматиты	25
Контактово-метасоматические месторождения	27
Гидротермальные месторождения	28
Экзогенные и метаморфогенные месторождения	31
Заключение по первому периоду	36
Второй период, 1929—1940 гг.	38
Общие вопросы рудообразования	46
Магматические месторождения	51
Пегматиты	54
Контактово-метасоматические месторождения	56
Гидротермальные месторождения	59
Эндогенные месторождения отдельных металлов	65
Эндогенные неметаллические месторождения	69
Экзогенные и метаморфогенные рудные неметаллические месторождения	71
Заключение по второму периоду	82
Третий период, 1941—1945 гг.	87
Металлогенические исследования	89
Общие вопросы рудообразования	91
Месторождения отдельных металлов	93
Заключение по третьему периоду	100
Четвертый период, 1946—1953 гг.	103
Общие вопросы рудообразования	107
Металлогенические исследования	108
Структурно-геологические исследования	110
Магматические месторождения	111
Пегматиты	116
Гидротермальные месторождения	119
Эндогенные месторождения отдельных металлов	125
Экзогенные и метаморфогенные рудные месторождения	129
Эндогенные и экзогенные неметаллические месторождения	133
Заключение по четвертому периоду	137
Пятый период, 1954—1968 гг.	140
Металлогенические исследования	146
Структурно-геологические исследования	153
Минералогические исследования	157
Общие вопросы рудообразования	162
Магматические месторождения	169
Пегматиты	177

Карбонатиты	181
Контактово-метасоматические месторождения	183
Месторождения, связанные с грейзенами и другими метасоматическими образованиями	186
Гидротермальные месторождения	191
Связь гидротермального оруденения с магматизмом	191
Минералого-геохимические исследования руд	198
Классификация гидротермальных месторождений	205
Экспериментальные исследования	208
Зональность оруденения	213
Околорудные изменения вмещающих пород	216
Условия отделения рудоносных флюидов от магматического очага	219
Месторождения отдельных металлов и неметаллических полезных ископаемых	222
Экзогенные и метаморфогенные рудные и неметаллические месторождения	241
Железо	247
Уран	254
Бокситы	260
Фосфориты	265
Сера	267
Геохимические и другие поисковые критерии	269
Заключение по пятому периоду	274
Основные пути дальнейшего развития науки о рудных месторождениях	284
Заключение	291
Литература	294

Федор Иосифович Вольфсон

**Развитие учения о рудных месторождениях
в СССР**

*Утверждено к печати
Институтом геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии*

Редактор *Б. В. Кристальный*
Художник *В. И. Прокофьев*

Технический редактор *Т. В. Алексеева*

Сдано в набор 6/V 1969 г. Подписано к печати 12/VIII 1969 г. Формат 69×90^{1/16}.
Бумага № 2. Физ. п. л. 20,25. Уч.-изд. л. 21,7. Тираж 3700 экз.
Т-10538. Тип. зак. 5665.

Цена 1 р. 49 к.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21
2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

5042