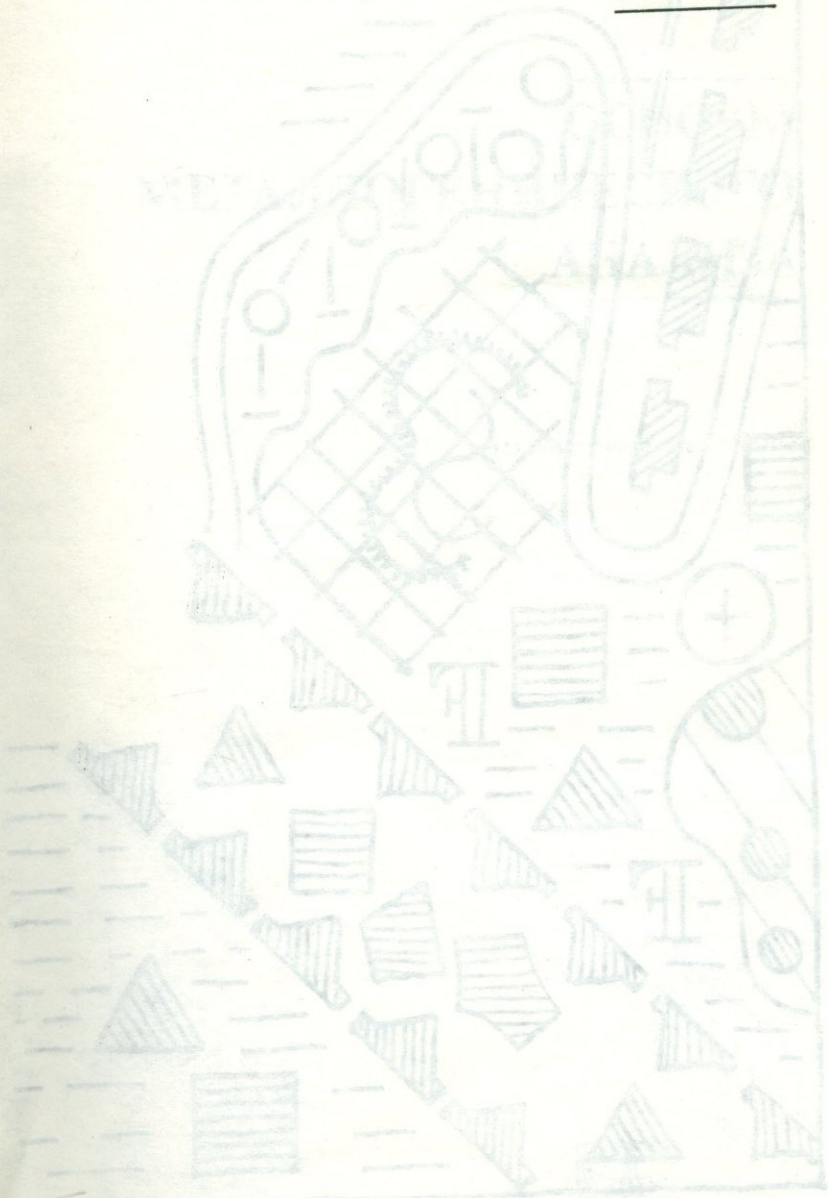
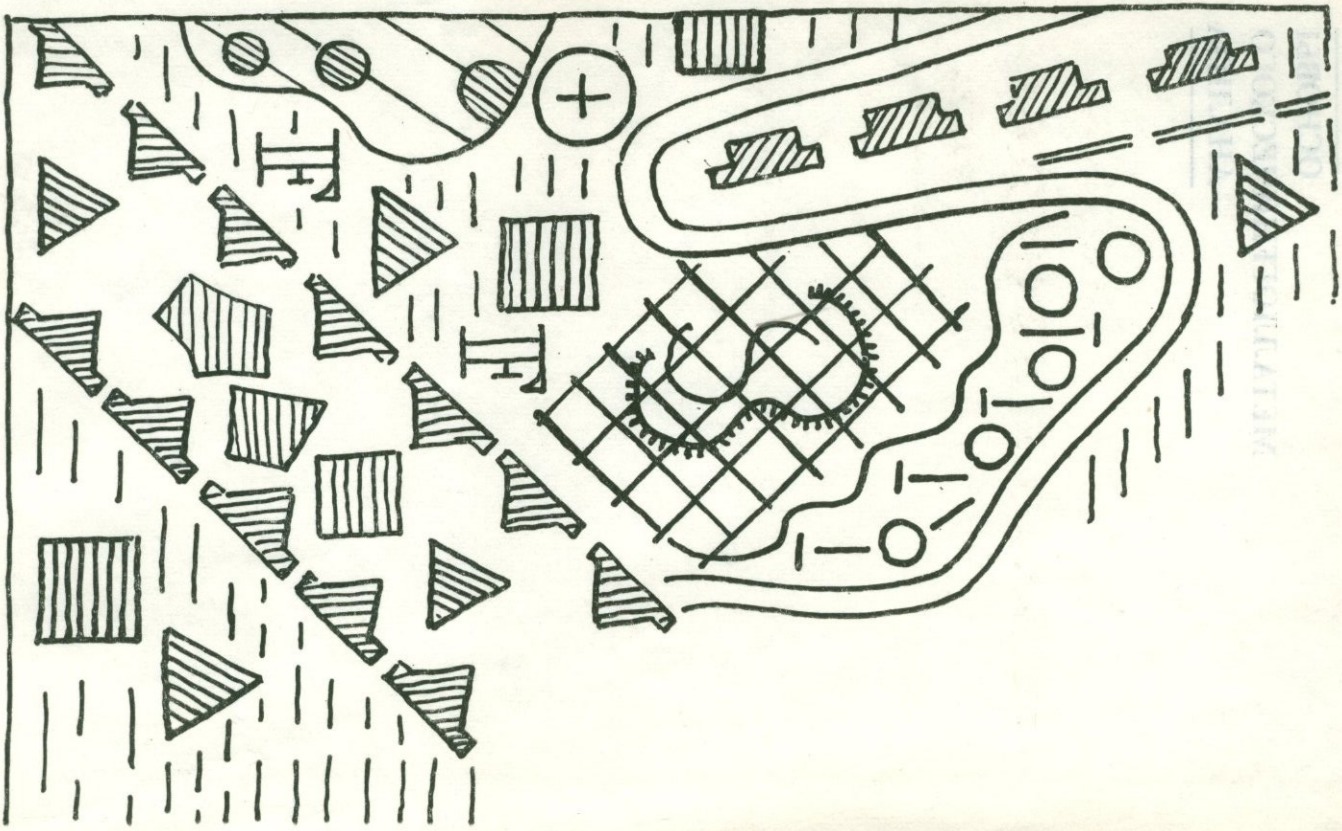
А.Н. Шуров

ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА





А.Д. ЩЕГЛОВ

ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Издание второе, дополненное

3346

Институт геологических наук АН Арм.ССР Библиотека

МОСКВА «НЕДРА» 1980

УДК 553.078

Щеглов А. Д. Основы металлогенического анализа. Изд. 2-е, доп. М., Недра, 1980. 431 с.

Книга состоит из двух частей. В первой части рассматриваются методологические и методические вопросы металлогении; показано самостоятельное значение металлогении как науки. Показана важная роль формационного анализа для установления закономерностей размещения полезных ископаемых.

Вторая часть книги посвящена обобщенной металлогенической характеристике главных структурных элементов земной коры: геосинклинально-складчатых областей, платформ, областей тектоно-магматической активизации и срединных массивов. Рассматриваются вопросы металлогении дна морей и океанов и представления новой глобальной тектоники в связи с задачами металлогенического анализа. Во втором издании (1-е изд.— 1976) приведены новые данные по региональной металлогении СССР. Изложены дальнейшие пути развития и задачи региональных металлогенических исследований.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, изучающих месторождения полезных ископаемых, условия образования и закономерности их размещения в земной коре, а также может быть использована студентами высших учебных заведений.

Табл. 13, ил. 32, список лит.— 553 назв.

Рецензент академик В. И. Смирнов

Щ $\frac{20803-287}{043(01)-80}$ 65—80 1904050000

© Издательство «Недра», 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вторая половина XX века характеризуется ускоренным развитием всех областей науки и техники. Практическое использование новых крупных достижений науки, интенсивное проникновение науки в производство являются в настоящее время непременным условием быстрого развития той или иной отрасли экономики. По существу происходит превращение науки непосредственно в производительную силу общественного развития.

Особое значение при этом приобретают естественные науки, в том числе геология и ее составная часть — металлогения, призванные решать большие практические задачи, связанные с полным и своевременным обеспечением социалистического хозяйства нашей страны всеми видами минерального сырья.

Металлогения — сложная комплексная наука, синтезирующая достижения многих направлений геологических знаний. Роль и значение металлогении в последние годы значительно возросли, и на ее примере отчетливо видно, как учение о закономерностях размещения полезных ископаемых в земной коре постепенно становится источником экономического прогресса, позволяет с подлинно научных позиций осуществлять прогноз полезных ископаемых и планировать направление поисковых работ.

Металлогения занимается изучением закономерностей формирования и размещения в пространстве и во времени месторождений полезных ископаемых. Эта задача решается с помощью металлогенического анализа, представляющего собой совокупность специальных методов, применяемых при установлении геологических условий образования и закономерностей размещения месторождений в связи с историей развития различных структурных элементов земной коры. Познание этих закономерностей и использование их при организации и проведении геологических работ — таковы основные цели регионального металлогенического анализа.

Выявление закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени неразрывно связано с решением сложных практических задач. Важнейшая из них — обнаружение крупных и богатых месторождений раз-

личных полезных ископаемых прежде всего в экономически благоприятных для освоения и особенно в освоенных районах нашей страны. В связи с этим на современном этапе металлогенических исследований важное значение приобретают вопросы научного прогноза размещения месторождений полезных ископаемых, решение которых должно способствовать расширению и улучшению минерально-сырьевой базы.

В данной работе рассматриваются основные вопросы металлогенического анализа, его методологические и методические аспекты, освещается металлогения главнейших структурных элементов земной коры. Знание этих вопросов в первую очередь необходимо при изучении металлогении конкретных регионов с их характерными особенностями.

Многие вопросы металлогенического анализа разработаны еще крайне недостаточно, хотя за последние годы в Советском Союзе накоплен большой опыт металлогенических исследований и собран огромный фактический материал по закономерностям размещения месторождений в разных структурах и регионах. Поэтому данную работу более правильно рассматривать как введение в региональный металлогенический анализ, освещающее только основные вопросы этой сложной, увлекательной, имеющей большое практическое значение, проблемы.

В работе сделана попытка рассмотреть главные вопросы, которые, по мнению автора, следует учитывать при металлогеническом анализе конкретных регионов. Здесь не предлагаются готовые «рецепты» в виде универсальных схем и методик, используя которые можно, как при помощи палетки, ускорить решение поставленных задач. Автор считает, что металлогенический анализ — это творческая, большая и серьезная научная работа, сковывать ее применением каких-либо стандартов нельзя. Этой точкой зрения и обусловлено построение настоящей работы.

Металлогения и создание металлогенического анализа — достижение советской геологической школы. Приоритет советских ученых в данной области геологических знаний общепризнан. Одной из особенностей этого научного направления является тесная связь с решением важнейших прикладных задач, связанных с прогнозом и открытием новых минерально-сырьевых баз. «Металлогения — это ключ к открытиям»,— признают сейчас зарубежные исследователи [493].

В настоящее время металлогения — общепризнанная отрасль геологических знаний. И именно сейчас, когда металлогения как самостоятельная наука находит широкое признание у исследователей различных направлений и стран, нельзя с удовлетворением не отметить, что основы и развитие этой науки были заложены трудами советских ученых и в первую очередь трудами В. А. Обручева, А. Е. Ферсмана, С. С. Смирнова, Ю. А. Билибина, Н. С. Шатского, Д. И. Щербакова, К. И. Сат-

паева, Х. М. Абдуллаева, В. И. Смирнова, В. А. Кузнецова, И. Г. Магакьяна, Е. А. Радкевич, Г. А. Твалчрелидзе, Е. Т. Шаталова и др. Именно этим ученым сегодня обязана советская геология тем, что металлогения как самостоятельное научное направление успешно развивается и решает важные теоретические и практические вопросы.

В последние годы в региональной металлогении и металлогеническом анализе наметились определенные новые тенденции их развития. Во-первых, произошли определенные изменения в характере опубликованных работ, на смену обобщениям по региональной металлогении пришли публикации по металлогении отдельных элементов, группам месторождений (формациям), как бы восполняя определенный пробел в исследованиях по специальной металлогении. Во-вторых, в металлогенический анализ активно вторгаются новые методы исследований; помимо математических методов сейчас успешно используются в металлогении данные о нашей планете, получаемые из космоса; методы морфоструктурного и палеогидрогеохимического анализов; шире и более всесторонне анализируется геохимическая и геофизическая информация с помощью ЭВМ. Определенное влияние на металлогенический анализ оказывает концепция тектоники плит; однако ее идеи по-прежнему в первую очередь используются для осмысливания глобальных металлогенических закономерностей и лишь в очень ограниченных масштабах (точнее, практически не используются) для выявления закономерностей размещения месторождений в отдельных регионах.

Все это свидетельствует о продолжающемся в нашей стране и за рубежом интенсивном развитии металлогенического анализа, металлогении в целом как науки, ее совершенствовании с учетом развития смежных геологических дисциплин. Эти обстоятельства в первую очередь и побудили автора подготовить книгу ко второму изданию, дополнив ее новыми главами и разделами.

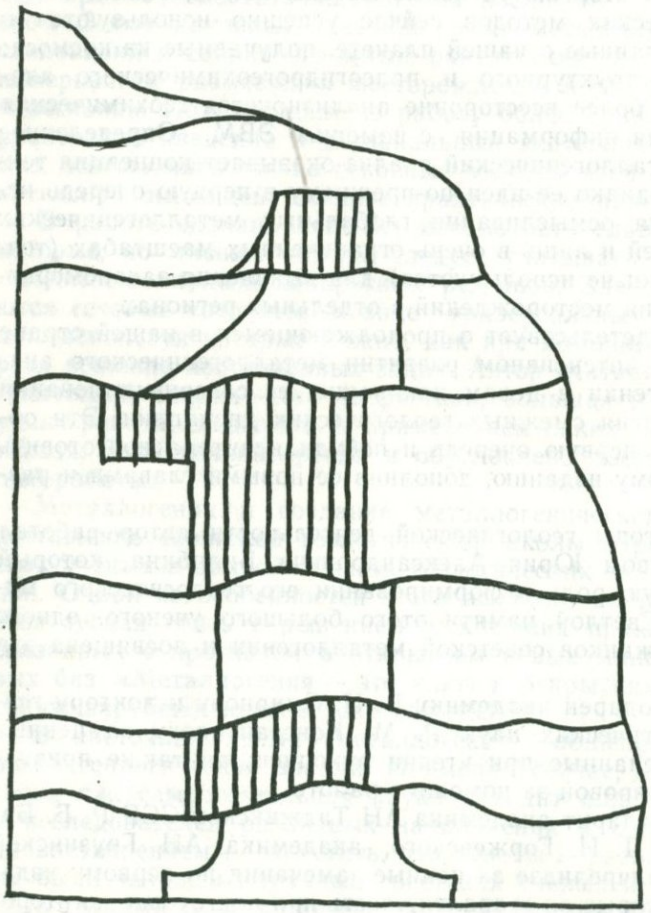
В первые годы геологической деятельности автор работал под руководством Юрия Александровича Билибина, который сыграл большую роль в формировании его геологического мировоззрения. Светлой памяти этого большого ученого, одного из основоположников советской металлогении и посвящена эта книга.

Автор благодарен академику В. И. Смирнову и доктору геолого-минералогических наук Р. М. Константинову за ценные замечания, сделанные при чтении рукописи; он также признателен Э. Н. Лавровой за помощь в работе.

Автор благодарит академика АН Таджикской ССР Р. Б. Баратова, проф. Д. И. Горжевского, академика АН Грузинской ССР Г. А. Твалчрелидзе за ценные замечания по первому изданию книги, которые он старался учесть при подготовке ко второму изданию.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА



ГЛАВА 1

МЕТАЛЛОГЕНИЯ — САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ. СОВЕТСКИЕ УЧЕНЫЕ — ОСНОВОПОЛОЖНИКИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

Опыт горного дела в России и других странах еще задолго до того, как региональная металлогения трудами советских геологов оформилась в самостоятельное научное направление, показал, что размещение месторождений полезных ископаемых подчиняется определенным закономерностям, знание которых способствует их выявлению.

Выдающиеся естествоиспытатели России отчетливо понимали значение закономерностей размещения полезных ископаемых для решения практических задач. Так, М. В. Ломоносов в своих трудах о Земле писал: «Пойдем ныне по своему Отечеству; станем осматривать положение мест, и разделим к произведению руд способные от неспособных; потом на способных местах поглядим примет надежных, показывающих самые места рудные»[1]. Эти мысли М. В. Ломоносова в общем виде определили достаточно точно главное содержание исследований по выявлению закономерностей размещения рудных месторождений. Позднее известные русские ученые П. П. Аносов [12], И. А. Полетика [295], А. Д. Озерский [275] и другие неоднократно отмечали, что в размещении рудных месторождений в земной коре намечаются определенные закономерности, различные по масштабам. И. А. Полетика это отчетливо показал для золоторудных месторождений Азии и Америки, а А. Д. Озерский — для рудных месторождений Забайкалья. Они подчеркивали значение поясового, зонального размещения рудных месторождений.

Пожалуй, выявление зонального характера распределения рудных месторождений в пределах разных по масштабу территорий (от рудных провинций до рудных районов и даже отдельных рудных полей) было первой крупной общей закономерностью, установленной в размещении рудных месторождений, положившей начало изучению закономерностей локализации рудных концентраций в земной коре и заложившей первый

[1] Ломоносов М. В. О слоях земных. М.—Л., Госгеолиздат, 1949, с. 96.

«кирпич» в фундамент ныне достаточно стройного «здания» металлогенической науки.

В настоящее время металлогения по сумме стоящих перед ней задач, методам исследования и обилию геологической информации, подлежащей анализу, представляет собой крупное самостоятельное направление геологического цикла наук о Земле, по теоретическому и практическому значению равнозначное самостоятельной науке. Металлогения как самостоятельная ветвь научных знаний выделилась из учения о месторождениях полезных ископаемых сравнительно недавно и возникла на стыке ряда геологических дисциплин: геологии полезных ископаемых, тектоники, региональной геологии, петрологии, учения о геологических формациях, геохимии, региональной геофизики, литологии др. Такое положение металлогении в системе других геологических наук придает ей роль обобщающей науки, призванной на основе всестороннего анализа взаимосвязей различных геологических явлений устанавливать главные закономерности размещения рудных месторождений в земной коре в конкретных, имеющих специфические и отличные друг от друга особенности геологического развития, регионах.

В настоящее время металлогенический анализ вышел из рамок шаблонного применения универсальной схемы развития эндогенной минерализации в пределах подвижных поясов земной коры. Это обстоятельство потребовало использования при металлогеническом анализе новейших достижений смежных геологических наук, привлечения для выявления закономерностей размещения месторождений новых методов исследований, в частности формационного метода изучения геологических образований, всестороннего анализа геохимических и геофизических данных по конкретным регионам и в глобальном масштабе, применения современных математических методов для обработки геологической информации и т. д. Металлогения отражает новейшие достижения смежных геологических дисциплин и, как в фокусе, концентрирует все то новое в геологических знаниях, что определяет уровень развития каждой из геологических наук в отдельности. Иными словами, уровень металлогенических исследований и металлогенического анализа как составной части этих работ неразрывно связан с уровнем смежных геологических наук, новейшие достижения которых служат фундаментом для металлогенических представлений.

В то же время выявленные в процессе металлогенического анализа закономерности размещения рудных месторождений не всегда можно объяснить с позиций старых геологических представлений, которые иногда нуждаются в серьезных коррективах, а подчас требуют и коренного пересмотра. Тем самым оказывается влияние металлогенических исследований на смежные геологические науки.

Следует отметить, что в данной работе широко применяются термины «металлогения», «металлогенический анализ», «металлогенические карты» и т. д. и не используется слово «минерагения».

Е. Т. Шаталов [439] обоснованно показал, что термины «металлогения» и «минерагения» могут трактоваться как «происхождение руд», они являются по семантике и геологическому смыслу синонимами. Термин «металлогения» имеет приоритет, всегда применялся основоположниками учения о закономерностях размещения месторождений в земной коре и общепринят [439]. Поэтому использование в данной работе старого и привычного термина «металлогения», а не «минерагения» нам представляется более оправданным. Термин «металлогения» в геологическую практику был введен в конце прошлого века известным французским геологом де Лоне [499], однако широкое применение он получил у советских исследователей в конце 40-х годов, когда изучение закономерностей размещения рудных месторождений в нашей стране приобрело широкий размах.

Отметим, что в последние годы заметно продвинулось вперед исследование региональных закономерностей размещения в земной коре не только рудных месторождений, но и месторождений неметаллических полезных ископаемых, угля, нефти и газа.

Необходимая, по мнению автора, историческая справка. С первых дней своего существования Советское правительство поставило перед геологической службой сложные и большие задачи, связанные с обеспечением народного хозяйства страны всеми видами минерального сырья.

В. И. Ленин определил сырьевую проблему как одну из важнейших проблем, от решения которой зависят укрепление и развитие социалистического строя. В «Наброске плана научно-технических работ» он выдвинул предложение «... образовать ряд комиссий из специалистов для возможно более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России» (В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 36, с. 228). В. И. Ленин указывал на необходимость предусмотреть рациональное размещение промышленности вблизи источников сырья. Обеспечение народного хозяйства собственными ресурсами было признано важнейшей проблемой.

Практическое осуществление указаний В. И. Ленина выразилось в составлении развернутой программы геологических работ и организации специальных комитетов, отделов и комиссий по вопросам развития естественных производительных сил. Была создана особая комиссия по исследованию Курской магнитной аномалии. По инициативе В. И. Ленина в 1920 г. Совет Труда и Обороны принял ряд срочных мер по расширению добычи угля и нефти. К поискам новых месторождений, к восстановлению нефтяной и горной промышленности были привлечены крупные специалисты и ученые, а руководство этими отраслями было поручено видным партийным и государственным деятелям — Г. К. Орджоникидзе, С. М. Кирову, С. В. Косиору и др.

О большом внимании В. И. Ленина к развитию геологических исследований в стране свидетельствует такой интересный факт. 30 апреля 1918 г. в Кремле происходило заседание Совнаркома под председательством В. И. Ленина. На этом заседании рассматривалась впервые представленная Советскому Правительству смета Геологического Комитета на производство геологических работ. Контрольные органы еще до заседания поставили вопрос о резком сокращении сметы, против чего возражал Геологический Комитет. Ввиду возникшего разногласия дело было вынесено для окончательного решения в Совнарком.

Для защиты сметы на заседание Совнаркома был командирован сотрудник Геологического Комитета проф. Я. С. Эдельштейн. Вспоминая эти события, он пишет: «Заслушав краткие выступления представителей Государственного контроля и Геологического Комитета, председательствующий Владимир Ильич в категорической форме предложил утвердить смету Геологического Комитета без сокращений, прибавив, что для исследований, с которыми тесно связано выявление месторождений полезных ископаемых, средств жалеть не следует. Это заявление, продиктованное мудростью и прозорливостью истинно великого государственного деятеля, было встречено громкими возгласами одобрения со стороны всех других присутствующих в собрании народных комиссаров» [469, с. 89]. В. И. Ленин неоднократно подчеркивал необходимость скорейшего выявления минеральных богатств нашей Родины.

В воспоминаниях академика С. Ф. Ольденбурга [276, с. 3], присутствовавшего в 1921 г. с группой ученых и А. М. Горьким на приеме у В. И. Ленина, приводятся такие слова Владимира Ильича: «...надо, чтобы все-таки наука сознала, что в настоящее время есть задачи неотложные. К этим неотложным задачам я отношу, прежде всего, выяснение богатств нашей страны, естественных производительных сил и их надлежащее хозяйственное использование. Здесь мы без науки, конечно, ничего сделать не можем, и она должна понять, что это одна из ее первоочередных задач». Претворение в жизнь идей В. И. Ленина о быстрейшем подъеме производительных сил и рациональном размещении промышленности потребовало создания новой геологической службы, способной справиться с большими и сложными вопросами изучения минерально-сырьевых ресурсов для обеспечения промышленности всеми видами сырья.

Создание мощной индустрии страны В. И. Ленин связывал с наличием в России огромных потенциальных ресурсов полезных ископаемых. «У нас есть материал и в природных богатствах, и в запасе человеческих сил, и в прекрасном размахе, который дала народному творчеству великая революция,— чтобы создать действительно могучую и обильную Русь» (В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 36, с. 80).

Геологические исследования в СССР достигли огромного размаха. Уже с первых лет Советской власти в стране широким фронтом развернулись поисковые и разведочные работы, темп которых с каждым годом все возрастал. Они привели к открытию в стране многочисленных месторождений полезных ископаемых.

За короткий срок советские геологи создали надежную минерально-сырьевую базу, являющуюся прочной материальной основой для быстро развивающегося народного хозяйства страны.

В тяжелые годы Великой Отечественной войны, когда гитлеровские полчища захватили железорудные месторождения Кривого Рога, угольные шахты и ртутные рудники Донбасса, месторождения цветных металлов на Кавказе, советские геологи совершили героический подвиг, обеспечив военную промышленность страны необходимым сырьем: были открыты и разведаны новые месторождения этих видов минерального сырья в восточных районах страны.

За годы Советской власти в стране создана прочная минерально-сырьевая база для развития социалистической индустрии, всего народного хозяйства. Разведанные запасы железных руд увеличились в 70 раз, практически заново открыты месторождения меди, свинца, цинка, редких металлов, титана, алмазов, олова, вольфрама, молибдена и других полезных ископаемых. На обнаруженных геологами месторождениях построены и успешно работают сотни горнодобывающих предприятий. В центральных районах СССР, на Урале, в Сибири, Средней Азии, Казахстане, на Дальнем Востоке, в северной части страны возникли новые горнопромышленные комплексы.

В пределах Советского Союза имеются все виды полезных ископаемых, которые используются в мировой практике. В этом отношении наша страна выгодно отличается от ряда капиталистических стран и в мировом балансе минерального сырья занимает сейчас ведущее место.

Вместе с тем перед советскими геологами стоят следующие неотложные задачи по совершенствованию минерально-сырьевой базы страны: обеспечение устойчивыми запасами действующих горных предприятий; открытие новых рудных районов и месторождений, прежде всего находящихся в благоприятных экономических условиях; выявление месторождений полезных ископаемых, запасы которых еще не полностью удовлетворяют возрастающие потребности народного хозяйства; улучшение географического размещения месторождений ряда полезных ископаемых (алюминия, железа, марганца, фосфоритов, флюорита и др.).

В настоящее время в СССР геологическими исследованиями занимаются более 500 000 человек, в том числе до 100 000 инженеров и техников. Работает более 11 000 экспедиций и партий. Геологические исследования охватили всю территорию страны; ведутся работы на многих морях. Такого размаха геологических работ мировая практика еще не знала. В результате накоплен колоссальный фактический материал, являющийся основой научных обобщений и новых теорий.

Чтобы в полной мере оценить огромный размах геологических исследований, приведших к открытию новых рудных месторождений и новых рудных районов в СССР, кратко охарактеризуем состояние сырьевой базы дореволюционной России. В области использования полезных ископаемых по сравнению с другими развитыми капиталистическими странами начала XX в. Россия очень резко отставала. Так, до Великой Октябрьской социалистической революции в мировой промышленности в качестве металлов использовалось 29 химических элементов, из них в России добывалось только 12—13 (железо, золото, медь, свинец, серебро, платина, цинк, иридий, никель, вольфрам, марганец, хром, ртуть), причем некоторые из них стали добываться только во время первой мировой войны.

Месторождения полезных ископаемых в царской России были изучены крайне слабо. Достаточно сказать, что из-за границы привозили даже глину. В то же время на территории России издавна были известны различные месторождения полезных ископаемых. Однако в царской России с ее отсталой экономикой, во многом зависящей от иностранного капитала, при использовании примитивной техники и слабой организации поисковых и разведочных работ минеральные богатства оставались практически полностью скрытыми в недрах Земли.

Дореволюционная Россия считалась бедной полезными ископаемыми. В 1910 г. по запасам железных руд Россия стояла на пятом месте, после США, Германии, Франции и Англии. Ее суммарные запасы оценивались в 2 млрд. т (1,13% от общемировых запасов). Значительная часть запасов падала на низкосортные руды.

Марганцевые руды в царской России добывались на двух месторождениях: Никопольском и Чиатурском. Месторождения эти были изучены в то время очень плохо, эксплуатация их велась хищнически с широким привлечением иностранного капитала. Значительная часть руды вывозилась за границу. В 1913 г. геологические запасы марганцевых руд составляли 168 млн. т.

Месторождения хромита были давно известны на Урале, но интенсивная их добыча началась лишь со второй половины XIX в. Хромиты — одно из немногих полезных ископаемых (если не единственное), по добыче которого царская Россия в конце XIX в. заняла первое место в мире и удерживала его в течение пяти лет. В 1901 г. в России было добыто 22 169 т хромита (47% мировой добычи). В последующие годы хромитовые руды начали интенсивно разрабатываться в Новой Каледонии, а затем в Зимбабве, и уже в 1913 г. удельный вес России в мировой добыче хромита составлял 15% (26 217 т).

По запасам цветных металлов царская Россия занимала одно из последних мест в мире. Месторождения меди, свинца и цинка были изучены слабо. Добыча медных руд базировалась главным образом на месторождениях Урала и частично Закавказья. В 1913 г. учтенные запасы меди в России составляли 600 тыс. т; годовая добыча меди не превышала 4% мировой добычи и достигала 43—45 тыс. т. Суммарные запасы свинца достигали 500 тыс. т,

цинка 1100 тыс. т, годовая добыча этих металлов соответственно составляла 1,5 тыс. т и 2,9 тыс. т.

Царская Россия не имела никелевой и кобальтовой промышленности, хотя высокосортные никелевые руды на Урале были открыты в двадцатые годы прошлого столетия. В 1907—1908 гг. был открыт крупный никеленосный Уфалейский район. Тем не менее в условиях дореволюционной России эти месторождения не были освоены. Более того, кобальтовые руды, добывавшиеся в незначительном количестве на Кавказе, вывозились в Германию.

Месторождения алюминиевого сырья в царской России не были известны, однако значение алюминия для промышленности прекрасно понимали передовые ученые того времени. Так, В. И. Вернадский в 1916 г. говорил об алюминии: «Его будущее огромно как в виде сплавов, так и в виде чистого металла. Его значение в связи с войной не меньшее. Это один из наиболее доступных нам элементов, строителей земной коры, он по распространенности стоит на третьем месте, после кислорода и кремния. А между тем в России как будто нет руд на металлический алюминий. В действительности боксит в России никогда серьезно не искали, хотя существование его залежей чрезвычайно вероятно, чтобы не сказать более, месторождения корунда настоящим образом не разведаны, большие залежи алунита Закавказья очень плохо изучены, и даже наши глиняные богатства не выяснены» [67, с. 417].

Такие редкие металлы, как олово, вольфрам и молибден, в царской России практически не добывались. Интерес к этим металлам резко возрос в связи с войной 1914 г. Тогда приступили к эксплуатации вольфрамовых месторождений в Забайкалье и молибденовых руд на Чикойском месторождении (Западное Забайкалье), из которых в годы первой мировой войны было добыто по нескольку тонн концентратов.

Оловянные руды в крайне небольших количествах добывались на Ононском месторождении в Забайкалье и на месторождении Питкяранта на севере Ладожского озера. Месторождения оловянных руд на территории России и в Забайкалье были открыты еще во второй половине XVII в., когда началась добыча олова для производства бронзы.

В царской России не были известны месторождения сурьмы, а месторождения ртути были представлены единственным Никитовским месторождением в Донбассе, запасы которого оценивались в 1700 т металла.

Несмотря на общую слабую изученность минерально-сырьевой базы, в России были открыты значительные россыпные и коренные месторождения золота, главным образом в районах Урала. Здесь в 1745 г. было открыто первое коренное Березовское месторождение, а с 1814 г. началась разработка золотоносных россыпей. Во второй половине XIX в. были открыты месторождения золота в Забайкалье, в Ленском районе и Амурской области. До середины прошлого века Россия занимала по добыче золота первое место, а с 1913 г.— четвертое.

В 1824 г. в золотоносных россыпях Урала была обнаружена платина. По добыче платины Россия в конце XIX — начале XX вв. вышла на первое место в мире. Серебро добывалось в России из полиметаллических руд Восточного Забайкалья и Рудного Алтая. Месторождения редких и рассеянных элементов в царской России не были известны, а месторождения радиоактивных руд были представлены единственным незначительным Тюя-Муюнским рудопроявлением в Средней Азии.

Перечисленными рудными полезными ископаемыми по существу закрывается список подземных богатств, используемых в России.

На огромной территории с большими богатствами в недрах в царской России проводились крайне ограниченные поисковые и разведочные работы на месторождениях, а добыча полезных ископаемых велась в небольших масштабах.

В. И. Вернадский, выдающийся ученый современности, понимая, что всестороннее освоение минеральных богатств России неразрывно связано с ее общим развитием и прогрессом промышленности, писал в 1916 г.: «Мы не только недостаточно используем огромную потенциальную энергию мине-

рального царства нашей страны, мы ее недостаточно знаем. А мы недостаточно знаем потому, что тратили ничтожные средства на получение этого знания.

Такое положение не может дольше продолжаться. Необходимо сейчас же энергично двинуть исследование той силы, какая заключается в недрах нашей страны. Такое исследование может идти только одним путем, путем планомерной, организованной работы и путем создания для этой цели специальных исследовательских институтов» [67, с. 417—418].

В. И. Вернадский [67] приводит интересные сведения, характеризующие состояние минеральных ресурсов в России (табл. 1).

Многие руды, известные в то время, не добывались в царской России и часть из них импортировалась в страну из-за границы.

Большая часть известных в царской России металлических полезных ископаемых была представлена незначительными по запасам объектами, которые служили предметом кустарных и старательских работ. Только после 1917 г., когда Великая Октябрьская социалистическая революция создала все условия для успешного освоения скрытых в недрах России минеральных богатств, советские геологи в исторически короткие сроки поставили на службу Родине многочисленные месторождения угля, нефти и газа, металлических и неметаллических полезных ископаемых.

Советские ученые — основоположники металлогенического анализа. Развернувшиеся в годы первых пятилеток широким фронтом геологические исследования привели к открытию многочисленных рудных месторождений, позволили собрать огромный фактический материал, требовавший глубокого анализа и обобщения. Необходимость повышения эффективности поисковых работ потребовала конкретных рекомендаций и прогнозов, которые могли быть даны только при знании основных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых. Работа по обобщению эмпирического фактического материала по размещению рудных месторождений в различных регионах нашей страны привела к возникновению в СССР новой области

ТАБЛИЦА 1

Элементы, которые не добывались в России или добывались в незначительных количествах. По В. И. Вернадскому [67]

Практическое использование	Общее число элементов	Руды известны	Руды известны, но не изучены	Руды неизвестны, но вероятны
Не добывались	30	9 V, La, Li, Cs, Pd, Sb, Ti, Th, Ce	14 B, Br, Bi, Cd, Mo, Sn, эманация радия, Ba, Ra, Se, Sr, U, Zr, Ti, Ge	7 He, K, Ne, радиоактивные элементы
Добывались в незначительном количестве	12	6 Ba, I, Hg, Si, S, F	5 Al, W, Pb, Ag, Zn	2 Co, Ni

геологических знаний — учению о закономерностях размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре.

Исследования советских ученых в области изучения закономерностей размещения полезных ископаемых в земной коре в настоящее время широко известны; они пользуются признанием геологов многих стран. Советские ученые первыми начали систематические региональные металлогенические исследования своей страны, выявили взаимосвязи разных металлов с различными геологическими факторами и разработали научные, теоретические основы регионального металлогенического анализа.

Металлогенические исследования, ставившие целью установление общих закономерностей проявления месторождений в крупных провинциях для более эффективного направления геологоразведочных работ, проводились уже в 20-е годы. К особо выдающимся работам прежде всего следует отнести известные публикации В. А. Обручева [266] по характеристике металлогенических эпох и провинций Сибири и А. Е. Ферсмана [406] по Монголо-Охотскому редкометальному поясу.

Эмпирические обобщения фактического материала, с учетом которых можно было бы более эффективно направлять поисковые работы, являлись главным видом металлогенических исследований конца 20-х и 30-х годов. В основном металлогенические исследования были сосредоточены в отдельных районах, в меньшей степени они имели характер широких обобщающих работ с целью выяснить общие закономерности, типичные для крупных структурных элементов земной коры. В те же годы развернулись исследования по выявлению закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в главных рудных регионах СССР, в результате которых был накоплен новый фактический материал и сделаны первые обобщения, позволившие установить неизвестные ранее закономерности размещения оруденения.

Пожалуй, три наиболее общих теоретических положения вытекало из этих исследований:

а) были установлены достаточно отчетливо связи определенного оруденения с определенными по составу магматическими породами, что позднее позволило С. С. Смирнову поставить вопрос о так называемых специализированных интрузиях;

б) в различных регионах была установлена поясовая зональность оруденения, свидетельствующая о специализации определенных рудоносных территорий в пределах более крупных провинций;

в) наметилось, и это, может быть, самое главное, что последовательным этапам развития земной коры свойственны определенные группы полезных ископаемых.

Примером таких работ служат исследования С. С. Смирнова по Восточному Забайкалью и В. П. Нехорошева по Рудному Алтаю, впервые установившие в указанных регионах рудные

пояса с различным оруденением. В эти годы особенно плодотворными были металлогенические исследования, проведенные А. Г. Бетехтиным, А. Н. Заварицким, П. М. Татариновым, С. Н. Ивановым и другими исследователями по Уралу; В. Г. Грушевым и Л. А. Варданянцем по Кавказу; Д. И. Щербаковым, Б. Н. Наследовым, Ф. И. Вольфсоном и В. М. Крейтером, А. В. Королевым и В. И. Смирновым по Средней Азии; К. И. Сатпаевым, Н. Г. Кассиным, М. П. Русаковым по Казахстану; М. А. Усовым, В. А. Кузнецовым и Ю. А. Кузнецовым по Сибири; И. Ф. Григорьевым и В. П. Нехорошевым по Алтаю; С. С. Смирновым и О. Д. Левицким по Забайкалью; С. С. Смирновым и Ю. А. Билибиным по Северо-Востоку страны. Эти работы, еще не связанные единой методикой и сходными теоретическими представлениями, заложили фундамент будущих широких металлогенических исследований. Для них характерен общий исторический подход к анализу закономерностей рудных месторождений, рассматривающий процессы формирования месторождений во взаимосвязи с другими геологическими явлениями.

Среди работ этого периода особое место занимают исследования С. С. Смирнова. По существу его работы [355, 356, 357, 358] по металлогении Восточного Забайкалья и Северо-Востока СССР явились первыми наиболее крупными исследованиями в стране, всесторонне анализирующими связь рудных месторождений с магматизмом, осадконакоплением и тектоникой. Эти работы были с методических позиций предвестниками современных металлогенических исследований. С. С. Смирновым был показан поясовый характер размещения оруденения в Восточном Забайкалье и намечены причины этих явлений. В более поздних работах по металлогении Северо-Востока СССР и особенно планетарного Тихоокеанского рудного пояса С. С. Смирнов [361, 362] на конкретных примерах показал, что отдельные регионы характеризуются присущей только им металлогенической специализацией, зависящей от специфики тектоно-магматического развития, которое различно для крупных структурных единиц земной коры.

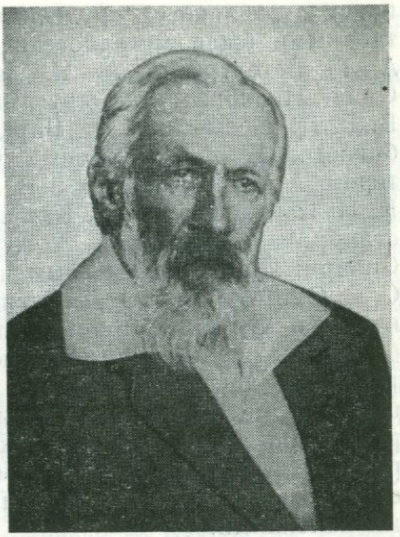
3346

В 30—40-е годы существенный вклад в изучение металлогении Средней Азии и Кавказа внес Д. И. Щербаков [465, 466], подошедший к анализу размещения оруденения в этих регионах с формационных позиций и обративший особое внимание на роль фундамента в локализации месторождений. В эти же годы появились первые обобщающие работы Ю. А. Билибина [40, 41].

Важно подчеркнуть, что в процессе этих исследований вокруг ведущих ученых создавались школы геологов-рудников, специалистов в области регионального анализа особенностей проявления рудных месторождений. Указанные работы по существу заложили основы современных металлогенических ис-

В. А. ОБРУЧЕВ,
С. С. СМИРНОВ,
Ю. А. БИЛИБИН.

Советские ученые — основоположники металлогенического анализа

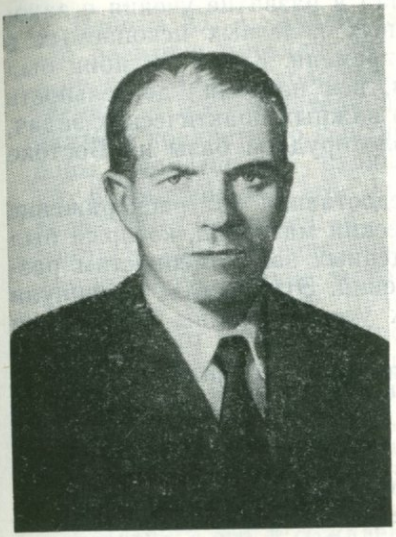


следований, выдвинули советскую геологическую школу в число ведущих в области металлогенического анализа. И только Великая Отечественная война 1941—1945 гг. резко затормозила развитие региональных металлогенических исследований, подчинив все работы в области геологии решению главным образом практических вопросов, связанных с расширением минерально-сырьевой базы страны. Однако и в эти трудные годы, как справедливо отметил Е. Т. Шаталов [439], особенно интенсивно развивалась специальная металлогения некоторых наиболее важных металлов — олова, вольфрама, молибдена, золота и др.

В послевоенные годы металлогенические исследования в Советском Союзе получили особенно широкий размах. Этот период в развитии металлогенических работ в стране связан с именами С. С. Смирнова и Ю. А. Билибина, которых советские геологи по праву считают основоположниками регионального металлогенического анализа.

Именно в эти годы трудами С. С. Смирнова и Ю. А. Билибина металлогения оформилась в самостоятельную отрасль геологических знаний и на базе теоретических обобщений этих выдающихся ученых начала успешно развиваться.

Ю. А. Билибин, внесший огромный вклад в создание и развитие советской металлогенической науки, писал о С. С. Смирнове: «Сергей Сергеевич был основоположником и главой советской металлогенической школы. В своих металлогенических работах он обрисовал те основные тенденции в развитии горнорудной промышленности, которые определяли и определяют сейчас ход и направление развития основных идей в учении о





рудных месторождениях и в учении о металлогении. Он убедительно показал несостоятельность американских металлогенических схем, их недействительность в условиях развития горнорудной промышленности Советского Союза. Своими работами в области металлогении олова он дал классический пример того, как должны решаться проблемы специальной металлогении. В области региональной и общей металлогении он поставил перед советскими геологами целый ряд чрезвычайно важных и острых проблем, наметил пути их разрешения, наметил дальнейшие пути развития советской металлогенической науки и общие контуры будущего советского учения о металлогении» [46, с. 402].

Несколько слов о Ю. А. Билибине. Имя Юрия Александровича Билибина легендарно. И не только среди геологов, знавших его. Чем больше времени проходит со дня его смерти, тем полнее и весомее раскрывается значение его научных трудов и открытий, тем яснее становится масштаб его личности, его вклад в советскую геологическую науку и практику. И хотя этого замечательного исследователя нет среди нас уже около трех десятилетий, сегодня, читая его труды, порой кажется, что он наш активный современник, находящийся на переднем крае геологического фронта, там, где острые теоретические проблемы тесно сплетаются с решением практических задач.

Юрий Александрович (1901—1951) — выдающийся ученый, член-корреспондент АН СССР, один из основоположников советской металлогенической школы, крупнейший петрограф и знаток рудных месторождений своего времени, с именем которого связано создание отечественной золоторудной минерально-

сырьевой базы, внес огромный вклад в развитие учения о закономерностях размещения эндогенных полезных ископаемых в земной коре в пространстве и во времени. Ю. А. Билибин был ученым разносторонних интересов, вся научная деятельность которого была подчинена решению важных практических задач, в первую очередь по созданию золоторудной базы на Востоке страны.

Практическая деятельность предоставила в распоряжение Ю. А. Билибина огромный фактический материал, который был обобщен им в ряде работ, посвященных закономерностям размещения золоторудных месторождений. Эти работы выдвинули Ю. А. Билибина в число ведущих ученых страны и снискали ему широкую известность.

Особое место в научном наследии Ю. А. Билибина занимают работы по металлогении золота и региональной металлогении, заложившие, наряду с известными работами С. С. Смирнова, А. Ф. Ферсмана и других, основы отечественной металлогенической науки. Ю. А. Билибиным создана первая схема эволюции эндогенного оруденения в ходе развития геосинклинальных зон, показаны особенности металлогении геосинклинальных зон разных типов и на этой основе разработаны общие принципы регионального металлогенического анализа, являющиеся фундаментом современных металлогенических исследований и представлений. Идеи Ю. А. Билибина получили широкое признание в Советском Союзе и за рубежом.

Ю. А. Билибин был выдающимся единомышленником и последователем С. С. Смирнова. В области теоретической металлогении труды его на многие годы вперед определяли главные пути развития советской металлогенической мысли и не потеряли своего значения до настоящего времени. Значение научного наследия Ю. А. Билибина огромно — в работах этого ученого впервые были сформулированы теоретические основы металлогенической науки и намечены общие закономерности проявления эндогенных месторождений в общем ходе сложного и многогранного процесса геологического развития земной коры.

Ю. А. Билибин [43, 44, 45, 49] показал, что эндогенные месторождения тесно связаны с различными магматическими комплексами, которые закономерно возникают в процессе развития геосинклинальных зон, будучи неразрывно связанными с осадконакоплением и тектоникой. В своих трудах, большинство которых, к сожалению, увидело свет уже после смерти этого ученого, Ю. А. Билибин заложил основы современного металлогенического анализа, определил основные направления развития этого учения. Большим вкладом в науку явились представления Ю. А. Билибина об этапах развития геосинклинальных зон и последовательном проявлении в рамках одного тектоно-магматического цикла различных эндогенных месторождений. Эти представления в настоящее время хорошо известны.

Работы Ю. А. Билибина явились «сильным катализатором» для развития металлогенических исследований в стране. К сожалению, многие положения Ю. А. Билибина некоторые его ученики и последователи применяли без должного творческого анализа конкретного фактического материала. Это, с одной стороны, привело к излишней канонизации представлений Ю. А. Билибина и его схемы металлогенического развития складчатых областей, а с другой,— вызвало неоправданно жесткую критику передовых для того времени и очень важных для науки обобщений этого выдающегося ученого.

Между тем Ю. А. Билибин в своих работах неоднократно отмечал, что шаблонный подход к металлогеническому анализу конкретных регионов недопустим и что им создана только общая схема развития подвижных зон, которая требует дальнейшей детализации, а главное — выделения на ее основе различных металлогенических типов складчатых областей.

Автор этих строк работал с Ю. А. Билибиным в последние годы жизни этого ученого, был знаком с его «творческой лабораторией», с его, к сожалению, не законченными поисками дальнейших путей развития металлогенического анализа в области типизации геосинклинально-складчатых областей. Идеи и мысли Ю. А. Билибина, которые стали известны геологической общественности в основном спустя несколько лет после его смерти, для самого Ю. А. Билибина были уже пройденным этапом. Он отчетливо видел и слишком общий характер своих построений и необходимость быстрейшей типизации по ряду признаков, в том числе и особенностям эндогенного оруденения, подвижных (геосинклинально-складчатых) зон. Об этом он говорил много раз, делясь своими мыслями после геологических маршрутов у таежного костра.

Одной из выдающихся заслуг Ю. А. Билибина явилось создание им в Ленинграде во Всесоюзном научно-исследовательском геологическом институте металлогенической школы, которая стала продолжателем научных традиций и наследия С. С. Смирнова и Ю. А. Билибина.

Именно во ВСЕГЕИ были составлены первые металлогенические карты крупных регионов и опубликованы в 1957 г. коллективом авторов «Общие принципы регионального металлогенического анализа и методика составления металлогенических карт для складчатых областей» [268]. Эта работа подвела на тот период определенный итог наших знаний в области регионального металлогенического анализа и, что особенно ценно, наметила пути дальнейшего развития металлогенических исследований, подчеркнув необходимость усиления работ прежде всего в двух направлениях: в области выделения и изучения различных типов структурно-металлогенических зон (А. И. Семенов) и рудных комплексов (Г. С. Лабазин). Причем изучение этих проблем предлагалось осуществить по существу на прин-

ципах формационного анализа, получившего в настоящее время широкое признание и развитие.

Необходимо отметить, что вопросы региональной металлогении и методики составления металлогенических и прогнозных карт с начала 50-х годов начали разрабатываться многими крупными геологическими организациями Советского Союза (в Казахстане, на Украине, в Средней Азии, на Урале). Именно в эти годы появились известные работы Д. И. Щербакова [467], К. И. Сатпаева [328, 329], Х. М. Абдуллаева [1, 2], которые с несколько иных позиций, чем школа ВСЕГЕИ, рассматривали вопросы формирования эндогенных месторождений в общем ходе развития подвижных зон, а также методику составления металлогенических карт.

Широко известны работы И. Г. Магакьяна [218] по металлогении континентов, в которых обобщен большой фактический материал по закономерностям размещения эндогенного оруденения в различных странах мира; много сделано этим исследователем по металлогенической классификации (типизации) рудоносных провинций СССР; их сопоставлению между собой и определению главных их признаков [219, 220]. В 1974 г. И. Г. Магакьян [220] опубликовал монографию «Металлогения», посвященную описанию главнейших рудных поясов мира; в работе рассмотрена металлогения платформ, складчатых поясов и активизированных зон различных регионов Советского Союза и зарубежных стран, охарактеризованы представления о металлогенических провинциях и эпохах, выделены типы металлогенических провинций и рассмотрены вопросы металлогении отдельных элементов. Работа И. Г. Магакьяна представляет собой интересное обобщение, рассматривающее металлогению главнейших структурных элементов земной коры с учетом последних данных по закономерностям размещения месторождений зарубежных территорий.

В конце 50-х годов появляются интересные работы по металлогении конкретных регионов. К числу таких исследований принадлежат в первую очередь работы Е. А. Радкевич по Приморью, М. И. Ициксона по Дальнему Востоку, Е. А. Карповой по Средней Азии, Г. А. Твалчрелидзе по Кавказу и др. В этих работах на основе анализа особенностей проявления эндогенной минерализации в конкретных регионах были показаны специфические черты металлогении каждого из них, выделены типовые металлогенические зоны и группы месторождений (рудные комплексы и формации).

Большое значение для развития металлогенических исследований и вопросов общей металлогении имели работы В. И. Смирнова по металлогенической классификации геосинклинальных зон и особенностям металлогении полицикличных геосинклиналей.

В. И. СМИРНОВ,
академик,
лауреат Ленинской премии,
Герой Социалистического Труда,
выдающийся ученый
в области геологии
рудных месторождений
и региональной металлогении



В. И. Смирнов в работе «Металлогения геосинклиналей» [340], развивая металлогеническое учение Ю. А. Билибина, на большом фактическом материале показал существование четырех типов геосинклинальных зон, характеризующихся различными особенностями геологического развития и металлогенией. Важно отметить, что в этой работе специфика проявления эндогенного оруденения в геосинклиналях рассматривалась во взаимосвязи с особенностями внутреннего их строения. В поперечном сечении разных типов геосинклиналей В. И. Смирновым выделены следующие крупные тектонические элементы: срединные массивы, внутренние и периферические зоны геосинклиналей, рвы внутренних зон геосинклиналей, рамы геосинклиналей и глубинные разломы, передовые прогибы и парагеосинклинали. В работе подробно рассмотрены вопросы магматизма и металлогении этих структур.

Несколько позднее В. И. Смирнов [343] охарактеризовал металлогению полицикличных складчатых поясов, обратив внимание на специфические особенности рудных процессов в зависимости от характера и полноты проявления различных стадий развития геосинклиналей.

Здесь необходимо отметить, что в конце 50-х годов Е. А. Радкевич [312], вслед за Х. М. Абдуллаевым [2] и Д. С. Харкевичем [421, 422], рассмотрела вопрос о типах металлогенических провинций и рудных районов; помимо выделения сиалического и фемического геохимических типов рудных районов Е. А. Радкевич в этой работе обратила внимание на необходимость выделения рудных районов в областях блоково-мульдового строе-

ния и омоложенных платформ в особую группу рудоносных структур.

Тогда же А. И. Семенов и Г. С. Лабазин [334] подвели итоги исследованиям в области региональной металлогении, подчеркнув, что эти работы в СССР в последние годы развивались по трем главным направлениям: а) разработка общих принципов регионального металлогенического анализа; б) составление металлогенических и прогнозных карт; в) металлогенические исследования по отдельным видам полезных ископаемых. В этой работе справедливо отмечено, что изучение металлогении конкретных регионов должно быть творческим и что «разработанная коллективом ВСЕГЕИ схема распределения минеральных месторождений в ходе геологического развития подвижных поясов земной коры является итогом обобщения и анализа большого фактического материала по территории СССР, а не какой-то общей абстрактной идеей, как это представляется некоторым увлекающимся критикам. Эта схема отражает лишь основные тенденции в металлогеническом развитии подвижных поясов и является сводной, обобщенной. Ее нельзя рассматривать догматически, как схему, отражающую все особенности каждого отдельного региона» [334, с. 64].

Работами Ю. Г. Старицкого и других [372, 373] были заложены основы металлогении платформ и показаны главнейшие особенности металлогенического развития этих крупнейших структур земной коры.

В Советском Союзе в конце 50-х — начале 60-х годов широко развернулись работы по составлению металлогенических карт главнейших рудоносных провинций страны, позволивших проанализировать огромный фактический материал по закономерностям размещения рудных месторождений в разновозрастных складчатых областях и на платформах. На основе этого материала были сделаны первые обобщения по классификации металлогенических провинций и рудоносных площадей [332, 341, 437]. Появились интересные исследования по вопросам общей металлогении [93, 224, 373] и металлогении отдельных регионов.

В. И. Смирнов [341] охарактеризовал металлогению всей страны; во ВСЕГЕИ крупным коллективом ученых была составлена первая металлогеническая карта Советского Союза [234].

В ряде работ последних лет были рассмотрены вопросы металлогении главных рудных провинций нашей планеты [220, 391]. Так, монография Г. А. Твалчрелидзе [391] посвящена характеристике рудных провинций Средиземноморского пояса; в ней, кроме того, рассмотрены вопросы региональной металлогении, дана классификация геосинклиналей на металлогенической основе. В работе Г. А. Твалчрелидзе приведены общие схемы металлогенической эволюции геосинклиналей, платформ

и зон тектонической активизации; на примере металлогении Средиземноморского пояса освещаются вопросы металлогенической эволюции земной коры и понятия о металлогенических эпохах.

На рубеже 50-х — 60-х годов зародились и стали успешно развиваться представления о металлогении областей тектоно-магматической активизации (Е. А. Радкевич, В. И. Казанский, Ю. Г. Старицкий и В. Л. Масайтис, П. М. Хренов, М. И. Иксон, А. Д. Щеглов и другие). Именно в эти годы возникло новое направление металлогенических исследований — металлогения рудных районов, целью которого явилась разработка методики детальных исследований локальных рудоносных площадей. Создание этого направления связано прежде всего с работами Е. А. Радкевич [310] и Е. Т. Шаталова [433]. Основы методики крупномасштабных металлогенических исследований были заложены трудами коллектива ученых ИГЕМ АН СССР под руководством Е. Т. Шаталова, которые опубликовали ряд крупных монографий, посвященных различным аспектам этой проблемы [125].

Достигнуты значительные успехи в области крупномасштабного прогнозирования и создания детальных прогнозных карт в Средней Азии, Казахстане, на Урале и в других регионах. Широкое признание в этом отношении получили работы геологов среднеазиатской школы (П. А. Шехтман, В. А. Королев, Т. М. Мацокина, Ю. В. Шихин и др.), разрабатывающих методы количественной оценки геологических факторов и прогнозов.

Кроме того, были опубликованы интересные работы, посвященные принципам и методам составления металлогенических и прогнозных карт и общим вопросам прогнозирования на примерах отдельных крупных рудных провинций и групп родственных месторождений. Так, Н. Л. Бубличенко, Ю. Ю. Воробьев, П. Ф. Иванкин и др. [296] рассмотрели на примере Рудного Алтая методические вопросы составления прогнозных карт, положив в основу комплексную методику, учитывающую совокупность признаков и факторов, влияющих на локализацию оруденения в различных геологических структурах в пределах единой рудной провинции. Под редакцией В. А. Королева [297] вышла работа, рассматривающая различные аспекты указанных вопросов в основном на примере Средней Азии. В этой коллективной работе отражен большой опыт среднеазиатских геологов по методике прогнозной оценки рудных полей.

Основные принципы и методы прогнозно-металлогенических исследований в районах развития колчеданных месторождений освещены Г. Ф. Яковлевым и другими [284]. В этой работе изложены методы исследований, причем показана необходимость подхода к оценке рудоносности площадей с позиций формационного анализа вулканогенных толщ с использованием геофизической и геохимической информации. В работе приведена мето-

дика составления прогнозно-металлогенических карт и на конкретных примерах показаны возможности ее применения.

ВСЕГЕИ опубликовал ряд коллективных работ [282, 285, 322], посвященных основам научного прогноза месторождений полезных ископаемых и проблемам региональной металлогении, в которых прежде всего развиваются идеи металлогенической школы ВСЕГЕИ и содержится большой новый фактический материал по закономерностям проявления разных типов рудных месторождений.

В последние годы много сделано и в области специальной металлогении, занимающейся изучением закономерностей проявления месторождений определенных металлов в пространстве и во времени. К числу таких работ следует отнести исследования А. И. Семенова [331] по металлогении урана, В. А. Кузнецова [188, 189] по металлогении ртути, В. Т. Покалова [294] по молибдену.

Интересные работы выполнены в рамках СЭВ геологами социалистических стран при разработке проблемы научного прогноза месторождений твердых полезных ископаемых в геологоструктурных зонах различного типа, совершенствовании принципов и методики составления карт закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозных карт [286].

Развитие металлогенических работ в стране, изучение металлогении конкретных регионов и металлов способствовало созданию крупных обобщающих работ в области региональной металлогении. Среди таких работ в первую очередь следует отметить исследование В. И. Смирнова «Очерки металлогении» [341], посвященное металлогении и принципам выделения рудных провинций СССР, а также капитальную сводную работу по металлогении страны «Основные закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на территории СССР» [282], работы сотрудников ВСЕГЕИ по региональным и локальным закономерностям размещения месторождений разных типов [322] и др.

В 1971 г. была опубликована металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000, составленная коллективом советских геологов. В 1972 г. карта демонстрировалась на XXIV Международном геологическом конгрессе в Монреале (Канада), где вызвала большой интерес со стороны геологов зарубежных стран. На карте отражены основные закономерности размещения главных месторождений полезных ископаемых и выделены металлогенические провинции страны. Несмотря на значительную сложность карты в отношении графического изображения связей месторождений с разнообразными геологическими факторами и этапами развития земной коры, эта карта является первым положительным опытом обобщения огромного фактического материала по закономерностям размещения полезных ископаемых на территории нашей страны.

Позднее К. Б. Ильин [126] на основе указанной карты составил очерк региональной металлогении СССР.

Наряду с работами в области региональной металлогении в последние годы советские ученые продолжали уделять внимание вопросам методики изучения самих месторождений при металлогенических исследованиях. В этом направлении особенно много сделано В. А. Кузнецовым и его школой [190, 191, 193], Р. М. Константиновым [161, 163, 171] и Г. А. Твалчрелидзе [387] по применению формационного анализа для изучения рудных образований.

Появились интересные теоретические исследования обобщающего характера, посвященные различным аспектам металлогении; среди них отметим следующие: работу философского плана Г. Н. Щербы «Геотектоногены и рудные пояса» [463], исследования коллектива авторов «Связь магматизма и эндогенной минерагении с блоковой тектоникой» [402], книги В. И. Казанского «Рудоносные тектонические структуры активизированных областей» [142], Г. А. Твалчрелидзе «Рудные провинции мира» [391] и др. Продолжалось совершенствование методики металлогенического анализа рудоконтролирующих факторов в рудных районах [235, 164]; в металлогенические исследования настойчиво внедрялись математические методы, вносящие «число и меру» в металлогенический прогноз [164, 168, 172].

Важное значение для расширения металлогенических исследований, повышения их научного уровня, разработки вопросов методики и создания теоретических основ металлогении имеют всесоюзные металлогенические совещания, которые проводятся регулярно начиная с 1952 г. Материалы этих совещаний, систематически издаваемые в виде отдельных томов [112], достаточно полно отражают эволюцию взглядов, методику, теоретический уровень и глубину разработки металлогенических проблем в нашей стране.

Для последних лет характерно появление обобщающих работ по металлогении отдельных элементов. К числу таких исследований, принадлежат работы коллектива авторов по металлогении ртути [241] и монография С. Д. Шера по металлогении золота [447]. В этих работах дан широкий анализ закономерностей размещения месторождений ртути и золота в главных структурах земной коры, показаны особенности размещения месторождений в различных геологических обстановках и провинциях. Эти работы несомненно являются важным вкладом в региональную металлогению, в уточнение наших представлений о региональных закономерностях проявления в пространстве и во времени указанных металлов. К работам этого профиля относится и сборник «Флюорит» [409], в котором рассмотрены закономерности проявления месторождений плавикового шпата в различных регионах Советского Союза и подчеркнуто

значение процессов тектоно-магматической активизации для формирования месторождений.

В 1976 г. вышло в свет «Методическое пособие по металлогении» коллектива авторов ВСЕГЕИ [243], в котором освещаются главным образом вопросы металлогенических исследований локальных площадей с различной минерализацией. В главах, написанных В. Т. Матвеенко, рассматриваются некоторые общие вопросы металлогенического анализа, дается критический анализ современного состояния металлогенических исследований и методов составления средне- и крупномасштабных металлогенических и прогнозных карт. В том же году краткий курс лекций для студентов по основам металлогении опубликовал П. А. Строна [378]. Очерк металлогении Тихоокеанского рудного пояса опубликован Е. А. Радкевич [319]. Эта работа интересна с позиций выявления глобальных закономерностей размещения месторождений в пределах уникальной по истории развития и металлогении структуры земной коры — Тихоокеанского пояса, образованного сложной совокупностью линейных складчатых зон и поперечных блоков различного типа и возраста, несущих разнообразную рудную минерализацию. На примере этой планетарной структуры Е. А. Радкевич выделяет группы эвгеосинклинальных, миогеосинклинальных и переходных между ними зон с характерным для каждой из них оруденением.

В последние годы получило дальнейшее развитие изучение металлогении отдельных крупных рудных регионов страны. К числу таких обобщающих работ относятся, например, исследования В. Б. Черницына [430] по металлогении Большого Кавказа, коллектива авторов по металлогении Алданского щита [77], Казахстана [239] и других регионов. Характерной общей чертой этих работ является детальное исследование геологических формаций, в том числе рудных, более глубокий анализ металлогении отдельных элементов. В этом отношении показательно исследование В. Б. Черницына [430], вскрывающее сложную эволюцию отдельных рудных элементов в общем ходе геологического развития Большого Кавказа; по существу, в этой работе как бы «переплетается» региональная металлогения с металлогенией отдельных элементов, что позволяет более четко показать характерные металлогенические особенности сложной полицикличной и полиметальной рудной провинции. Крупным исследованием по металлогении активизированных структур является коллективный труд по металлогении Алданского щита, в котором на основании глубокого формационного анализа геологических формаций вскрыты главные закономерности развития рудной минерализации в пространстве и во времени, показана специфика металлогении Алданского щита, определяющаяся прежде всего длительной и сложной историей

его геологического развития как элемента структуры Сибирской платформы.

Важным вкладом в развитие общих представлений о локализации рудных месторождений разных типов являются вышедшие в последние годы обобщающие работы по закономерностям размещения бокситовых месторождений Советского Союза [111], геологии оловорудных месторождений Киргизии [81], рудоносности траппов Сибирской платформы [293], геологии ртутных месторождений Алтае-Саянской области [79], Северо-Востока [448] и др. В частности, в последних монографиях особенности металлогении ртути показаны на фоне широких региональных построений, что позволяет определять положение ртутоносных провинций в глобальных структурах Центрально-Азиатского и Тихоокеанского ртутных поясов. Эти исследования по существу развивают металлогению отдельных элементов в конкретных регионах, что весьма важно для вопросов прогнозирования ртутного оруденения.

К разделу исследований, посвященных металлогении отдельных элементов, следует отнести и монографию Н. А. Солодова [370], посвященную минерагении литофильных редких металлов, в которой всесторонне рассматриваются геотектонические, геохимические и геохронологические закономерности их проявления в земной коре. В работе показаны геотектонические позиции редкометальных поясов и рудных полей месторождений различных (многочисленных) редкометальных формаций; выделены редкометальные минерагенические эпохи и освещены особенности минерагении отдельных редких металлов. Среди работ этого цикла особо следует отметить интересное исследование В. И. Казанского, Н. П. Лаверова и А. И. Тугаринова [144], проследивших эволюцию уранового рудообразования и показавших особенности проявления урана в пространстве и во времени в главных структурах земной коры.

Вопросы геотектонического положения и систематики стратиформных свинцово-цинковых месторождений освещены В. В. Архангельской и Ф. И. Вольфсоном [15]. По существу эта работа дает металлогенический анализ определенной группе месторождений, определяя место, время и характер геологических структур, в которых проявляются указанные рудные объекты. Авторы отмечают, что рудоносные территории с определенной поздней группой стратиформных месторождений свинца и цинка испытывают нередко несколько циклов тектоно-магматической активизации; они приурочены к мегаблокам, характеризующимся относительно небольшими вертикальными перемещениями, развитием базальтоидного магматизма, маломощными гранитным слоем и всей коры в целом (в два раза менее мощной, чем кора геосинклиналей).

Вопросы методики регионального прогнозирования месторождений полезных ископаемых освещены в последние годы в

ряде коллективных работ [236, 243, 244, 304]. К ним, в частности, относится сборник статей сотрудников ВСЕГЕИ [244], в котором рассматриваются вопросы использования морфоструктур центрального типа для анализа закономерностей размещения месторождений, оценивается роль дешифрирования аэрофотоснимков при прогнозе рудных месторождений и т. д.

Другая работа, хотя и несколько иного плана, выполнена геологами Украины [183] и посвящена критериям прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления; в ней содержится большой фактический материал по закономерностям проявления рудных месторождений в различных структурах Украинского щита, установлены критерии их проявления и разработаны основы поисков скрытых и глубоко залегающих месторождений; особенно важно подчеркнуть, что в указанной работе дана характеристика металлоносности активизированных зон обрамления Украинского щита.

На примере отдельных крупных регионов (Кавказ, Казахстан, Алдан) совершенствовались научные принципы металлогенического анализа [77, 239]. Принципы прогнозирования свинцово-цинковых месторождений и методика составления прогнозных карт изложены в работе коллектива авторов [298].

Были рассмотрены глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений и обосновано значение региональных зон разломов и блоковых структур для их локализации [75, 85, 57]. В последние годы много сделано для познания общих вопросов металлогении докембрия, выявления общих закономерностей размещения месторождений в специфических структурах начальных периодов эволюции литосферы [52, 69, 80]. Этому во многом способствовали Первое Всесоюзное совещание по металлогении докембрия [237] и Международный симпозиум «Корреляция докембрия», состоявшийся в августе 1975 г. в Москве.

Важный шаг сделан в изучении металлогении щитов древних платформ и разработке принципов и методов их исследования. Здесь прежде всего следует отметить вышедшие в свет в последние годы две коллективные монографии «Геология и металлогения щитов древних платформ СССР» [80] и «Критерии прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления» [183].

Для более глубокого познания особенностей размещения в структурах земной коры докембрийских месторождений важное значение имели познание вопросов метаморфогенного рудообразования и выяснение роли процессов метаморфизма в образовании различных типов месторождений [242]. Следует подчеркнуть, что в последнее время сделан значительный шаг в изучении рудоносных магматических комплексов и их потенциальной рудоносности, что важно для определения перспектив

рудоносных территорий и прогноза месторождений. В развитие этого направления значительный вклад внесен Л. В. Таусоном [385], разработавшим критерии оценки рудоносности гранитоидов и показавшим роль различных геохимических типов гранитоидов в образовании постмагматических флюидов и формировании рудных месторождений. Им дана характеристика потенциально рудоносных интрузий, которая должна учитываться при металлогеническом анализе рудоносных площадей. Кроме того, в работах этого исследователя содержатся важные для прогноза оруденения данные, касающиеся признаков глубин эрозионного среза рудоносных массивов, которые являются необходимыми критериями перспективной оценки анализируемых территорий.

В последние годы в металлогенические исследования «вторгаются», казалось бы, далекие от металлогении методы. В частности, Е. А. Басков [17] на примере ряда рудных месторождений показал возможность применения палеогидрогеологического анализа к металлогеническим построениям. Он полагает, что палеогидрогеологические данные служат в той или иной степени показателями локализации месторождений различных полезных ископаемых. Например, очаги разгрузки вод глубоких горизонтов часто ассоциируют с крупными промышленными скоплениями металлов. Металлогенический анализ ныне включает и палеовулканические реконструкции, особенно необходимые при прогнозе рудоносности эвгеосинклинальных областей и наземных вулканических поясов, где оруденение часто неразрывно связано с палеокальдерами и другими типами вулканических построек.

В настоящем обзоре проведенных в СССР металлогенических исследований упомянуты далеко не все работы и их авторы, так как цель данного очерка — подчеркнуть особенности развития металлогенических исследований в нашей стране, дать читателю представление о характере развития металлогении как науки в Советском Союзе и показать, какой крупный вклад внесли советские геологи в развитие этого направления. Более подробно в историческом аспекте вопросы развития металлогенических работ в СССР изложены в книге Ф. И. Вольфсона «Развитие учения о рудных месторождениях в СССР» [71], в статье Е. Т. Шаталова «Металлогенические исследования в СССР» [439], а также в ряде других работ [235, 161, 312 и др.]. Некоторые проблемы современной металлогении и истории развития металлогенических идей освещены в работах Е. А. Радкевич [317, 318].

Из изложенного выше материала вытекают следующие положения.

1. Вопросы изучения закономерностей формирования и размещения рудных месторождений в пространстве и во времени давно привлекали внимание русских и советских геологов, при-

дававших решению этих задач большое теоретическое и практическое значение.

2. В Советском Союзе бурное развитие металлогенических исследований было обусловлено прежде всего необходимостью быстрейшего удовлетворения нужд народного хозяйства в минеральном сырье.

3. Металлогения как наука развивалась в нашей стране очень плодотворно в нескольких направлениях, каждое из которых в процессе развития создавало и совершенствовало свою методику работ. В настоящее время в металлогенических исследованиях, проводимых в СССР, отчетливо выделяются четыре главных направления [334, 439]:

а) общая металлогения, цель которой — создание теоретических основ и разработка общих принципов регионального металлогенического анализа, а также методики составления металлогенических и прогнозных карт;

б) региональная металлогения (или, точнее, металлогения регионов), цель которой — изучение закономерностей проявления месторождений минерального сырья (главным образом рудного) в пределах крупных регионов и разработка принципов и методики составления металлогенических карт с учетом конкретных особенностей геологического строения и типов оруденения рассматриваемой территории;

в) металлогения отдельных элементов (специальная металлогения, по Е. Т. Шаталову), цель которой — изучение особенностей проявления отдельных элементов, образующих концентрации в виде месторождений, в пространстве и во времени в процессе геологической эволюции конкретных регионов и структур;

г) металлогения рудных районов, цель которой — детальное исследование локальных рудоносных площадей — рудных районов, зон и узлов, выявление закономерностей локализации месторождений на основе составления крупномасштабных металлогенических и прогнозных карт (масштаб 1 : 200 000—1 : 25 000).

О металлогенических картах. Особая роль в деле выявления закономерностей размещения полезных ископаемых в земной коре, в различных ее структурах принадлежит исследованиям по составлению металлогенических и прогнозных карт, которые должны служить надежной основой для направления поисковых работ. Этот особый вид металлогенических исследований является основной составной частью многих обобщений; именно в процессе этих работ собирается и анализируется первичный фактический материал по конкретным регионам — основа многих теоретических обобщений.

В настоящее время составление металлогенических и прогнозных карт разных масштабов проводится во многих геологических организациях страны и служит одним из методов уста-

новления закономерностей проявления месторождений в пространстве и во времени. До 1959 г. металлогенические и прогнозные карты были единичны; они охватывали крупные регионы и составлялись главным образом научно-исследовательскими институтами. С 1960 г. в эту работу активно включились территориальные геологические управления, составившие карты разных масштабов, на основе которых планировалось направление поисковых работ. В последние годы выросло значение пометальных прогнозных и металлогенических карт, работа над которыми позволила проанализировать большой фактический материал по металлогении отдельных элементов.

Анализ прогнозных и металлогенических карт, составленных различными организациями за последние двадцать лет, позволяет выделить четыре крупные группы таких карт, отличающихся по методике составления, и наметить (в некоторой степени условно) четыре периода в их создании. Эти периоды не являются строго последовательными, но тем не менее они отражают в общих чертах характер развития работ по составлению металлогенических и прогнозных карт в нашей стране.

Составление прогнозных карт первой группы относится к началу 50-х годов, когда территориальные геологические управления Советского Союза приступили к созданию на геологической основе регистрационных карт полезных ископаемых с элементами прогноза. Эти работы были закончены в 1953—1954 гг., они завершились для большинства регионов составлением регистрационных карт разных видов полезных ископаемых. Такие карты составлялись главным образом камерально, по фондовым материалам, без постановки специальных полевых и лабораторных исследований. Несмотря на простоту таких карт, — на них не отражены взаимосвязи оруденения с другими геологическими процессами и не показаны общие закономерности размещения месторождений, — они сыграли положительную роль в оценке минерально-сырьевой базы регионов и выявления их перспектив.

Вторая группа прогнозных и металлогенических карт объединяет комплексные и пометальные карты, которые также создавались на упрощенной, в той или иной мере специализированной геологической основе. На этих картах рудные месторождения уже подразделялись на формации или типы, а при составлении карт учитывались все данные шлиховой, металлометрической, геофизической и других съемок. Такие карты в основном составлялись в середине и конце 50-х годов и продолжают составляться некоторыми организациями и сейчас.

Примером такой работы служат «Комплексные металлогенические прогнозные карты Центрального Казахстана», выполненные в Академии наук Казахской ССР [328, 329]. Эти карты составлены на специализированной геологической основе, на которой все геологические образования (осадочные, интрузивные и др.) подразделены на шесть групп, соответствующих опреде-

ленным периодам времени развития региона. Все рудные месторождения объединены в соответствующие «металлогенические» формации. При составлении карты был собран и обобщен большой материал по шлиховым и металлометрическим съемкам, а также использованы данные поисково-геофизических и аэромагнитных работ. Учитывая совокупность перечисленных данных, были выявлены площади возможного развития тех или иных металлогенических формаций.

Практические рекомендации на прогнозной карте Центрального Казахстана были сделаны с учетом всей имеющейся информации о фактическом распространении оруденения; однако эти рекомендации носили эмпирический характер, они не связаны со всесторонним анализом особенностей развития конкретных геологических структур рассматриваемой территории. Основным методом прогноза, использованным при составлении карты, служил по существу принцип поисков «руды около руды».

Третья группа прогнозных и металлогенических карт объединяет карты, выполненные на основе общих принципов регионального металлогенического анализа и методики составления металлогенических карт для складчатых (геосинклинальных) областей, разработанных во ВСЕГЕИ. На основе этих принципов и методики, с внесением в них уточнений и дополнений в соответствии с конкретными особенностями истории геологического развития отдельных территорий, в 50—60-е годы были составлены металлогенические карты ряда главнейших рудных районов Советского Союза. На этих картах процессы минерализации впервые были показаны во взаимосвязи с другими геологическими явлениями — осадконакоплением, магматизмом, тектоникой, метаморфизмом, причем эти связи были отражены на картах графически. Это по существу определило характер прогнозов на данных картах, которые впервые стали научными, способными дать оценку рудоносности площадей без установленных ранее признаков минерализации, только на основе анализа особенностей их геологического развития. Составление металлогенических карт такого рода и в таких крупных масштабах было проведено впервые в истории геологии. Эти работы имели не только научное значение, они были важны для перспективного планирования геологопоисковых работ и общей оценки территории СССР на то или иное полезное ископаемое.

Развивая методику составления металлогенических карт и основываясь на положительном опыте региональных металлогенических исследований предыдущих лет, ряд научных и производственных коллективов страны в последние годы закончили составление новых металлогенических и прогнозных карт крупных регионов. Эти карты были составлены также на основе историко-геологического принципа, с возможно большим учетом конкретных особенностей развития процессов седиментации, магматизма, тектоники и связанного с ними оруденения; они более

полно вскрывали специфические особенности развития подвижных поясов разных типов и закономерности размещения месторождений в пределах их тектонических элементов. Важно подчеркнуть, что эти карты были составлены на формационно-тектонической основе, на которой отражались конкретные разнотипные тектонические структуры (элементы) и слагающие их геологические формации. Из анализа карт следовало: отдельные элементы геосинклинальных (складчатых) поясов разного типа существенно отличаются друг от друга не только историей развития, но и металлогенией. Такой конкретный подход к анализу закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых представляется наиболее правильным и перспективным. Отметим, что при составлении указанных карт всесторонне учитывались материалы шлиховой, металлометрической и других съемок, геофизические данные, а также иные материалы. Такого рода карты нами относятся к четвертой группе; именно по такой методике была создана первая металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000 [234].

Составление прогнозных и металлогенических карт главных рудных провинций нашей страны и выявление на этой основе основных закономерностей проявления рудных месторождений в различных по возрасту и типу структурах имели и имеют большое значение для развития общей, теоретической металлогении. Эти два направления металлогенических исследований тесно связаны между собой, активно влияют друг на друга, совместно обусловливая развитие металлогенической науки.

Металлогенические исследования за рубежом. В отличие от Советского Союза за рубежом металлогенические исследования развиваются в достаточно ограниченных масштабах и главным образом под влиянием исследований, проводимых в СССР. Работы, посвященные вопросам общей, теоретической металлогении, в зарубежных странах немногочисленны и представлены по существу единичными обобщениями [399, 514, 528]. В последние годы за рубежом, особенно в США, Канаде и некоторых других странах, наблюдается усиление интереса к металлогеническим исследованиям [493, 528, 552]. Об этом, в частности, свидетельствуют доклады зарубежных ученых на XXIV Международном геологическом конгрессе в Канаде, представивших ряд обобщающих работ по металлогении крупных регионов. Повышенный интерес к металлогении объясняется в определенной мере появлением многочисленных работ по тектонике плит и последующими попытками связать эти новые тектонические гипотезы с региональными закономерностями проявления оруденения [493, 494, 495, 530, 537, 544, 545].

Среди работ общего характера выделяется работа Ф. С. Тюрнора «Металлогенические провинции и эпохи» [399], в которой охарактеризованы рудоносные районы Северной и Южной Аме-

рики и рассмотрены некоторые общие вопросы формирования месторождений в пространстве и во времени.

Составление металлогенических карт было начато за рубежом в конце 50-х — начале 60-х годов. Большинство из них, однако, представляют собой регистрационные карты полезных ископаемых (карты Юго-Восточной Азии, Перу, Чили, Канады и других стран). В Индии в 1963 г. была закончена первая металлогеническая (минерагеническая) карта всей страны масштаба 1 : 2 000 000, составленная на основе принципов, разработанных во ВСЕГЕИ. В объяснительной записке к этой карте подчеркивается, что методика составления металлогенических карт, разработанная во ВСЕГЕИ, должна широко применяться для составления металлогенических карт геосинклинальных и платформенных областей, а также металлогенической карты Мира [519].

В те же годы и в том же масштабе были завершены карты минеральных провинций Японии, построенные по принципу выделения оруденения того или иного возраста; на этих картах месторождения были разделены по металлам или минералам, рудным формациям или генетическим признакам; схематический геологический фон показывал магматические или осадочные породы соответствующего возраста [495]. Большое значение для развития металлогенической картографии за рубежом имело создание в 1958 г. подкомиссии по металлогеническим картам Комиссии геологической карты Мира МГК. Эта комиссия была инициатором создания металлогенической карты Европы масштаба 1 : 2 500 000, которая в настоящее время издается полистно (издание должно быть закончено вместе с объяснительной запиской в 1979 г.). Карта составляется геологическими службами всех стран Европы под руководством редактора-координатора П. Лаффити (Франция).

На XXIV сессии Международного геологического конгресса в Канаде в 1972 г. демонстрировалась металлогеническая карта Австралии масштаба 1 : 5 000 000, представляющая собой интересную работу [394, 552]. Она составлена на основе легенды металлогенической карты Европы, которая во многом использует принципы, разработанные металлогеническим коллективом ВСЕГЕИ.

Важно отметить, что особенностью металлогенической карты Австралии и ее тектонической основы [552] является выделение так называемых «транзитных» («transitional») геологических образований (магматических и осадочных) и структур, которые, по мнению австралийских геологов, формируются в специфических условиях, резко отличных от предполагаемых в геосинклиналях и на платформах. Эта совершенно особая категория структур, по нашему мнению, соответствует в полной мере структурам областей автономной тектоно-магматической активизации в понимании советских геологов. Выделение таких

структур на австралийском континенте имеет важное общетеоретическое значение, так как свидетельствует о том, что в пределах Австралийской платформы процессы тектонической активизации проявляются достаточно отчетливо и интенсивно.

В ряде стран Европы в последние годы созданы интересные обобщающие работы по металлогении. К таким исследованиям принадлежат работа В. Саттрана и коллектива исследователей [536] по проблемам металлогении Чешского массива и работа П. Лаффита «Металлогения Франции» [208].

Геологи ГДР, Польши и Чехословакии опубликовали работу по составлению металлогенической карты Богемского (Чешского) массива.

Широкие металлогенические исследования проводят геологи Болгарии, творчески применяя историко-формационный метод анализа геологического развития своей крайне интересной в металлогеническом отношении страны (работы И. С. Йовчева, Р. Д. Докова, Р. Димитрова и др.).

Геологами Румынии [488] и Польши [283] составлены металлогенические карты территорий своих государств.

Отражением признания необходимости составления металлогенических карт крупных регионов и выявления в их пределах главных закономерностей размещения рудных месторождений является появление первых металлогенических карт Бразилии [548] и Финляндии [509], составленных с учетом методик, разработанных советской металлогенической школой.

Особо следует отметить большой вклад геологов стран — членов СЭВ, выполнивших совместную работу «Основы научного прогноза месторождений твердых полезных ископаемых» [286]. В этом комплексном многотомном исследовании подведены итоги в области металлогении, прогноза и методики составления прогнозных карт для следующих месторождений: полиметаллических и медноколчеданных, оловянно-вольфрамовых, золото-серебряных и полиметаллических, флюоритовых и флюорит-баритовых, медных и свинцово-цинковых стратифицированных, бокситовых и медно-молибденовых. Данные работы представляют собой интересные исследования по металлогении отдельных типов месторождений и содержат большой фактический материал. Это первый пример совместного успешного решения крупных задач в области металлогении геологами социалистических стран.

Обобщающая работа «Введение в металлогению — минерагению» выполнена исследователями ГДР Л. Бауманном и Г. Тишендорфом [482], которыми составлена широкая сводка по региональной металлогении с освещением различных вопросов методики металлогенического анализа и специальной минерагении. Это, пожалуй, за рубежом первая работа такого типа, освещающая многие проблемы региональной металлогении. В работе широко использованы материалы и представления советской металлогенической школы.

Другой интересной работой по региональной металлогении является сборник статей «Актуальные проблемы металлогении Центральной Европы», вышедшей под редакцией Е. Федака [549] в Польше. Эта работа содержит многочисленные статьи, освещающие закономерности размещения рудных месторождений Центральной Европы, их генетические и другие особенности. Работа сопровождается металлогенической картой Чешского массива и его северного обрамления масштаба 1 : 500 000, составленной геологами ГДР, ПНР и ЧССР. Особенно привлекает внимание металлогеническая карта, наглядно отражающая закономерности проявления месторождений, блоковый характер развития территории, значение молодых нарушений, характер наложенных на образования субстрата массива структур разного типа и их роль в локализации оруденения. Работа отражает значительные достижения в области металлогении в этих странах, а также комплексный подход к изучению крупных региональных структур, располагающихся на территории разных стран.

Интенсивно развивается региональная металлогения в последние годы за рубежом. Этому в значительной степени способствовало активное внедрение идей гипотезы тектоники плит в различные области геологии, в том числе и в рудную геологию [520]. Проблемы закономерностей размещения месторождений в свете представлений глобальной тектоники рассматриваются во многих статьях зарубежных авторов. Наиболее полно они нашли отражение в трудах IV симпозиума Международной ассоциации по генезису рудных месторождений [301], материалах XXV Международного геологического конгресса в Австралии [551] и трудах Международной конференции «Металлогения и тектоника плит в северо-восточном Средиземноморье», состоявшейся в 1976 г. в Белграде [521]. В большинстве указанных трудов рассматриваются различные, часто чисто умозрительные схемы применения идей гипотезы тектоники плит к геологическому строению конкретных регионов и на этой основе производятся построения, связанные с выявлением самых общих закономерностей месторождений. Как правило, они не отличаются существенно от уже предложенных моделей [520].

В последние годы за рубежом выполнены интересные исследования по металлогении ряда стран (ГДР, ПНР, СРР, ЧССР, Перу, Италии, Франции и др.), составлены первые металлогенические карты крупных регионов (Канада, Аляска); ведется составление металлогенической карты США.

Известный французский геолог П. Рутье [532], обобщающие работы которого всегда отличаются оригинальностью, в статье «К единой схеме региональной металлогении. Теоретическое и практическое значение. Предложение в форме манифеста», отмечает, что современные металлогенические школы не в состоянии найти удовлетворительных объяснений ряду главнейших закономерностей размещения месторождений в земной коре и, в

частности, различиям в особенностях локализации руд в разных провинциях и многочисленным отклонениям в последовательности проявления месторождений в сходных складчатых зонах. По его мнению, в настоящее время существует три металлогенические школы: а) билибинская, или хронологически,— структурно-фациальная, б) линеаментная, в) субдукционная.

Ф. Гайлд [497] недавно охарактеризовал особенности металлогении Западных штатов США с позиции глобальной тектоники, отметив, что источники металлов, по-видимому, находятся в мантийных частях планеты. Он же рассмотрел [498] легенды металлогенических карт континентов и карт мира, выделив три школы: русскую, европейскую и американскую, каждая из которых, по его мнению, имеет свои преимущества. Вопросы формирования рудных месторождений в связи с идеями глобальной тектоники нашли освещение в ряде докладов на V симпозиуме Международной ассоциации по генезису рудных месторождений, состоявшемся в США в 1978 г. Связь линеаментов с рудными месторождениями, а также роль блокового строения субстрата для размещения оруденения в верхних структурных этажах обсуждаются в ряде работ зарубежных исследователей [482, 490, 502, 503, 504, 506, 522, 534, 540].

Металлогенические исследования за рубежом в настоящее время вступают в новую фазу. Об этом, в частности, пишет американский геолог Ф. Гайлд [493], подчеркивая, что современная металлогения представляет собой ключ к практическим открытиям. В связи с тем, что металлогенические исследования за рубежом развивались вслед за работами советских ученых, это наложило на них определенный отпечаток, заключающийся прежде всего в следующем: зарубежные геологи перешли сразу же к составлению металлогенических карт, минуя по существу этап теоретической разработки основных принципов металлогенического анализа, заимствуя их из работ советских ученых. В США были переведены известные работы Ю. А. Билибина [483] и В. И. Смирнова [547], а также многие статьи советских исследователей по различным проблемам общей и региональной металлогении, вызвавшие там большой интерес и получившие широкое признание.

ГЛАВА 2

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Металлогения — сложная, многогранная наука, возникшая на стыке комплекса других наук о Земле непосредственно в связи с требованиями практической геологии, необходимостью совершенствования конкретных прогнозов с целью проведения геологоразведочных и поисковых работ только на перспективных

площадях. Эта задача могла быть успешно решена в первую очередь на основе более глубокого и всестороннего изучения закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени, детального познания особенностей проявления тех или иных месторождений в различных региональных и локальных структурах разных тектонических элементов земной коры. Выполнение этой задачи неразрывно связано с разработкой многих теоретических представлений: о тектоническом развитии земной коры и строении Земли в целом, причинах локализации рудных концентраций в разных структурах и их генезисе, характере и условиях образования различных геологических формаций, с которыми связаны те или иные месторождения, и т. д.

Металлогения с самого начала возникновения активно воздействовала на развитие смежных геологических наук и дисциплин. В значительной степени базируясь на достижениях других наук и синтезируя их результаты, металлогения, оформившись после известных исследований С. С. Смирнова и Ю. А. Билибина в научное направление, могла успешно развиваться только на основе современных, наиболее прогрессивных методологических и методических принципов.

Методологической основой металлогении как науки с первых шагов ее развития был диалектический анализ геологических явлений. Именно материалистическая диалектика, рассматривающая явления, происходящие в природе и обществе во взаимосвязи и взаимозависимости, служит методологической основой современного металлогенического анализа, позволяющей наиболее достоверно вскрывать действительную историю возникновения и особенности локализации рудных концентраций в земной коре.

Отчетливо понимая это, один из основоположников советской металлогении Ю. А. Билибин сформулировал следующим образом главный принцип регионального металлогенического анализа: «Процессы минерализации, ведущие к возникновению минеральных и, в частности, рудных месторождений, представляют одну из сторон единого и сложного процесса геологического развития земной коры. В своем историческом развитии они теснейшим образом взаимосвязаны с другими сторонами того же процесса, т. е. осадконакоплением, тектоническими движениями (развитием структур), магматической деятельностью и метаморфизмом. Процессы минерализации могут и должны изучаться лишь в своем историческом развитии и в теснейшей взаимосвязи со всеми другими сторонами процесса геологического развития земной коры» [45, с. 13].

Такой подход к анализу закономерностей проявления минеральных месторождений в земной коре является единственно правильным; он показывает, как при конкретном применении диалектический материализм становится важным, действенным

оружием научного познания сложных закономерностей геологических явлений. Иными словами, философской, методологической основой решения сложных проблем металлогенического анализа является диалектический материализм, который «... не является наукой над другими науками, а представляет собой инструмент научного исследования, метод, пронизывающий все науки о природе и обществе и обогащающийся данными этих наук в ходе их развития» [1].

Казалось бы, в настоящее время представления о неразрывной связи рудных процессов с другими геологическими явлениями (осадконакоплением, магматизмом, тектоникой и др.) общепризнаны, а положение о том, что рудообразование составляет одну из сторон геологического развития нашей планеты, лежит в основе выявления закономерностей размещения и локализации месторождений в геологических структурах земной коры. Однако некоторые исследователи полагают, что закономерной связи между рудными процессами и другими геологическими явлениями, в особенности тектоникой, не существует, она случайна, и рудные месторождения представляют собой «вещь в себе». В этом отношении показательна работа Ж. Гогеля [88], который считает, что проявление месторождений и минерализованных зон всегда случайно и в настоящее время нельзя определить, «... почему один участок оказывается рудоносным, а другой, совершенно сходного строения, не содержит оруденения» [88, с. 334].

В металлогении большое значение имеет соотношение таких философских категорий, как закон и закономерность, закономерность и случайность. Пожалуй, как ни в одной другой из наук естественного цикла, в геологии вообще и в металлогении в частности существует такое положение, когда собственно геологические или металлогенические законы (понимая под законом устойчивые взаимосвязи явлений) на современном уровне нашего познания геологических процессов в большинстве случаев не могут считаться незыблемыми и постоянными. Даже «закон» геосинклинального развития земной коры не является законом, так как он основан на субъективной во многом интерпретации геологических процессов и в последние годы, например, вызывает серьезные замечания со стороны последователей гипотезы новой глобальной тектоники или тектоники плит.

Б. П. Высоцкий [74] справедливо отмечает, что среди геологических законов имеются особые законы, которых нет в физике и химии. «Труднейшая задача геологического (металлогенического — *А. Щ.*) исследования заключается в том, чтобы провести ее между Сциллой безграничной индивидуализации и Харибдой

---

[1] Жданов А. А. Выступление на дискуссии по книге Г. Ф. Александрова «История западноевропейской философии» 24 июня 1947 г. М., Госполитиздат, 1953, с. 10.

неоправдываемой идеализации (генерализации)» [74, с. 216]. Это замечание полностью относится и к металлогеническому анализу, где «чувство меры» у исследователя имеет важное значение для правильного выбора решения, способствует наиболее объективному познанию закономерностей.

Поэтому в настоящее время было бы неверным говорить о существовании многих уже твердо установленных геологических (металлогенических) законов, которые имели бы столь же общее значение, как и законы, установленные, например, в физике и химии. В то же время и металлогении, как самостоятельной науке, присущи свои законы, сопоставимые по значению с законами других наук. К ним, например, относится закон о взаимосвязи тектонических и металлогенических процессов или закон линейного размещения оруденения в земной коре. Эти законы металлогении будут рассмотрены в соответствующих разделах.

Совсем иное дело, когда мы говорим о закономерностях в геологии или металлогении. В этом случае геологическая природа дает в руки исследователя громаднейший фактический материал, анализ которого позволяет выявить ряд общих взаимосвязей между геологическими явлениями, они систематически повторяются в одном или нескольких регионах и позволяют на основании установленных взаимосвязей выявить определенные закономерности. Например, связь кварцево-касситеритовых месторождений (конкретного региона) с кислыми гранитами или приуроченность низкотемпературных флюоритовых месторождений к зонам разрывных нарушений и т. д.

В металлогении закономерность выражает обычно одну достаточно постоянную форму связи определенных явлений. В задачу металлогенического анализа поэтому и входит в первую очередь выявление главных закономерных связей геологических явлений, определяющих возникновение месторождений полезных ископаемых.

В цепи общих установленных закономерностей развития геологических процессов могут быть исключения или определенные отклонения, которые могут рассматриваться как явления случайные, резко отличающиеся от, казалось бы, уже твердо установленных и выявленных. Явления, которые рассматриваются в металлогении как случайные, в большинстве случаев — результат влияния на закономерно развивающиеся геологические процессы внешних (случайных) для них обстоятельств (причин). Приведем два примера таких случайных явлений.

В одном из редкометальных регионов устанавливалась закономерная связь касситерит-вольфрамитовых высокотемпературных месторождений с трещинными штокообразными интрузиями кислых гранитов, приуроченными к песчанико-сланцевым толщам. Связь таких месторождений с трещинными гранитами, развивающимися главным образом среди терригенных пород, рассматривалась как определенная, строгая закономерность,

подтверждающаяся открытиями новых месторождений в процессе поисковых работ. В одном из районов в толще песчаниково-сланцевых пород были установлены пласты известняков, в которых на контакте с рудоносными гранитами возникали шеелитоносные скарны, образующие крупные и богатые залежи вольфрамовых руд. В этом случае появление известняков в разрезе флишоидных толщ и возникновение скарновых шеелитовых месторождений может рассматриваться как явление случайное на общем фоне закономерного развития оловянно-вольфрамовых месторождений кварцевого типа в силикатных породах.

Другой пример относится к золоторудным месторождениям, для которых, как известно, породы с углистым веществом являются наиболее благоприятным фактором локализации богатого золотого оруденения. Однако во многих регионах такие благоприятные для концентрации золотого оруденения условия в конкретных рудных полях проявляются не закономерно, и возникновение в кварцевых жилах богатой золотой минерализации, например на контакте с углистыми сланцами, часто воспринимается как случайность.

Важной особенностью случайных явлений в металлогении является следующее обстоятельство — случайность должна рассматриваться как зародыш, как первый признак будущей закономерности. Для металлогении как науки такое философское понимание случайности чрезвычайно важно, так как оно способствует открытию новых закономерностей. Поэтому случайность, случайные явления в металлогении всегда следует рассматривать с диалектических позиций, имея в виду возможность их превращения в новую важную закономерность.

Возвращаясь к касситерит-вольфрамитовым месторождениям (о них шла речь выше), подчеркнем, что открытие шеелитовых месторождений скарнового типа, которое воспринималось на первых этапах их изучения как случайное явление, в дальнейшем приобрело значение закономерности, так как было установлено следующее: наиболее крупные промышленно важные месторождения вольфрама повсеместно в регионе связаны с карбонатными толщами и представлены месторождениями скарнового типа, хотя они и ассоциируют с тем же комплексом трещинных гранитов, что и жильные вольфрамитовые месторождения.

В общем виде одна из задач металлогении и состоит в том, чтобы, раскрывая сущность случайных явлений, вскрывать закономерности.

Однако случайность нельзя отождествлять со случайными открытиями, хотя в металлогении эти два понятия достаточно близки. Известно, что в науке в процессе познания человеком природы случайным открытиям принадлежит заметная роль. В геологии, например, к числу неожиданных открытий, по-видимому, следует отнести обнаружение С. С. Смирновым касситерита в

рудах изученных им полиметаллических месторождений. Именно это в какой-то мере случайное открытие оловянных минералов в полиметаллических рудах привело в дальнейшем к теоретическому обоснованию и последующему выявлению очень важной в промышленном отношении группы сульфидно-касситеритовых месторождений.

Металлогении как самостоятельной науке, которая сформировалась в последние два десятилетия, присущи некоторые характерные особенности развития, свойственные современному естествознанию и имеющие определенные философские аспекты. Одна из них состоит в том, что в металлогении новые идеи и теории возникают почти одновременно в разных научных коллективах и у различных исследователей. Эти теории и идеи, конечно, не идентичны, они трактуют вопросы в разных аспектах, но генеральный их смысл является общим. Это положение можно достаточно хорошо проиллюстрировать на примере новых концепций о металлогении областей тектоно-магматической активизации и новых металлогенических идей, использующих представления о тектонике плит.

Диалектика современного научного познания состоит в том, что многие новые идеи и теории в определенный период времени служат стимулом прогресса, а затем постепенно начинают тормозить развитие того или иного научного направления. Это общее положение присуще и металлогении, где, как известно, наблюдается сходная картина. Например, идеи о строгой приуроченности эндогенных месторождений только к пяти этапам развития геосинклиналей на определенном этапе научного познания тормозили развитие представлений о связи рудных месторождений с процессами тектоно-магматической активизации, или возведение в абсолют представлений о связи рудных месторождений со специализированными интрузиями сдерживало развитие новых идей об ассоциации оруденения с различными вулканогенными формациями и т. д.

В настоящее время для металлогении приобретает большое значение переоценка уже известного фактического материала с новых теоретических позиций, причем такой пересмотр во многих случаях способствует рождению новых теоретических представлений, равнозначных крупным научным открытиям.

Современная металлогения — крайне молодая наука, которая в процессе развития совершенствовала и продолжает совершенствовать методику исследований, методы металлогенического анализа. Как отмечалось, металлогенический анализ представляет собой совокупность методов, с помощью которых выявляются (устанавливаются) закономерности размещения полезных ископаемых в земной коре. Его характерная особенность — изучение отдельных геологических явлений как частей единого целого, с одновременным синтезом получаемых результатов (выводов).

Методы металлогенического анализа различны по задачам и содержанию и заключаются в общем виде в изучении факторов (геологических, геохимических, геофизических и др.), определяющих какую-либо одну из сторон устанавливаемых закономерностей. Эффективность металлогенического анализа во многом зависит от полноты использования последних достижений и теоретических представлений различных разделов геологической науки.

В наиболее развернутом виде (после работ Ю. А. Билибина) общие принципы (методы) регионального металлогенического анализа были изложены в коллективном труде сотрудников ВСЕГЕИ [268], в котором развивались представления Ю. А. Билибина о формировании складчатых областей и проявлении определенных магматических и рудных комплексов в пять главных этапов. Эта работа имела большое значение для развития региональной металлогении, однако общие методические основы металлогенического анализа геологических явлений в ней практически подменялись универсальной схемой металлогенического развития складчатых областей. В последующие годы она претерпела определенные изменения при применении ее к анализу металлогении конкретных регионов, была дополнена и развита рядом исследователей на основе нового фактического материала [218, 340, 342, 343, 386].

В настоящее время, когда в нашей стране накоплен большой опыт металлогенических исследований, созданы обобщающие работы по металлогении отдельных регионов и главным тектоническим элементам земной коры, разработаны принципиальные представления об эволюции рудных процессов в пространстве и во времени, с нашей точки зрения, нет необходимости в создании жестких универсальных схем металлогенического развития крупных тектонических элементов земной коры, которые могли бы быть пригодны «на все случаи жизни» для металлогенического анализа любых регионов.

Практика показывает, что такие идеализированные металлогенические схемы, хотя и имеют важное значение, на современном этапе развития металлогении не могут служить главной методической основой металлогенического анализа. Значительно более важным сейчас представляется разработка самых общих методических основ изучения различных геологических явлений, определяющих образование и закономерности размещения месторождений. Это необходимо прежде всего для того, чтобы различные исследователи с одинаковых позиций могли производить металлогенический анализ разных регионов, выявлять объективные закономерности размещения минеральных месторождений в земной коре, наиболее эффективно используя их для целей прогноза. В этом случае, как нам кажется, возможен наиболее творческий подход как к анализу особенностей развития тех или иных регионов в историческом аспекте, так и к выявле-

нию закономерностей проявления месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени в конкретных крупных тектонических структурах.

Таким общим, наиболее объективным методом металлогенического анализа, как это в настоящее время справедливо считают многие исследователи, является структурно-формационный метод, основанный на сочетании тектонического и формационного анализов конкретных регионов [193, 194, 225, 441 и др.]. Значению формационного метода исследований для металлогении посвящена особая глава. Структурно-формационный метод позволяет наиболее достоверно производить выделение различных тектонических элементов конкретных регионов и отдельных рудоносных площадей, а также устанавливать парагенетические и генетические взаимосвязи разных геологических образований, в том числе и месторождений полезных ископаемых с осадочными, осадочно-вулканогенными, магматическими и метаморфическими формациями.

Металлогеническая наука неразрывно связана с практикой геологоразведочных работ, которые подтверждают истинность металлогенических построений и закономерностей. Очень важной формой практического использования закономерностей, выявленных при металлогеническом анализе, служат научные прогнозы с оценкой перспектив рудоносности тех или иных геологических структур и регионов. Открытие новых месторождений и рудных районов на основе металлогенических прогнозов является кульминационным моментом региональных металлогенических исследований, определяющим достоверность научно разработанных металлогенических гипотез.

ГЛАВА 3

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВО ВРЕМЕНИ

В условиях научно-технической революции, охватившей в настоящее время практически все отрасли науки и техники, особую роль играют минеральные ресурсы, которые в значительной степени определяют экономический потенциал государств. В последние годы намечается ускоренный рост потребления минерального сырья; предполагается, что за рубежом удвоение объема потребления минерального сырья произойдет за тринадцать — пятнадцать лет. По данным Горного бюро США к 2000 г. годовое потребление меди по сравнению с современным возрастает в 3 раза, цинка в 1,7 раза, золота в 4,5 раза, алюминия в 7 раз.

Особенно бурными темпами растут добыча и потребление рудных полезных ископаемых в Советском Союзе. Так, за последние 20 лет потребление бокситов возросло в 8 раз, медных руд в 6 раз, цинковых руд в 5 раз, молибденовых руд в 3,8 раза.

В орбиту промышленного освоения вовлекаются новые типы месторождений. Вследствие отработки богатых руд и резкого роста потребности в минеральном сырье отчетливо проявляется тенденция к освоению месторождений с относительно небогатыми рудами, но пригодными к разработке открытым способом. Это относится не только к крупным по запасам месторождениям железных или марганцевых руд, но и к месторождениям вольфрама, олова, свинца, цинка, золота и др. Возникает необходимость выявления новых типов полезных ископаемых с комплексными полиметальными рудами.

Намечаемый рост потребления минерального сырья в нашей стране ставит перед геологической наукой и практикой новые сложные задачи, успешное решение которых зависит не столько от масштабов капиталовложений, выделяемых на развитие геологии как науки и создание новых минерально-сырьевых баз, сколько от правильного выбора направлений поисковых работ и резкого повышения их эффективности. Поэтому большое значение имеет научный подход к определению объектов и масштаба геологоразведочных поисковых работ, основанный на всестороннем металлогеническом анализе рудоносных территорий и знании основных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени. В этих условиях возрастают роль и ответственность металлогенической науки, призванной способствовать решению важных практических проблем, связанных с открытием новых рудных провинций, районов и месторождений.

Создание устойчивой минерально-сырьевой рудной базы страны и вопросы ее прогноза должны иметь в основе научные представления о закономерностях проявления месторождений в разных геологических структурах земной коры на различных этапах их геологической истории. Знание таких закономерностей обеспечит целеустремленное направление поисковых работ и выявление новых рудных месторождений в пределах рудоносных территорий, перспективы которых, казалось бы, исчерпаны.

В настоящей главе остановимся только на самых общих закономерностях проявления рудных месторождений в пространстве и во времени в пределах континентального блока земной коры.

Основные закономерности размещения рудных месторождений в пространстве и во времени. Одной из важнейших общих закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре, которая, по нашему мнению, приобретает роль геологического закона, является устанавливаемая в планетарном масштабе связь определенных групп месторождений с определенными

структурами. Этот закон кратко может быть сформулирован следующим образом: определенные типы месторождений полезных ископаемых проявляются в определенных типах тектонических структур. Это общее положение применимо к структурам различных порядков и классов и находит подтверждение как для региональных, так и для локальных структур. Оно обусловлено тем, что в каждой из структур на определенных этапах ее развития формируются сходные для структур определенного порядка и типа геологические формации (осадочные, магматические, вулканогенно-осадочные и др.), образование которых сопровождается и проявлением определенных серий месторождений.

Так, например, разные группы месторождений характерны для главных структурных элементов земной коры: платформ, геосинклинально-складчатых зон и областей автономной тектоно-магматической активизации. В пределах этих тектонических элементов определенные группы полезных ископаемых приурочены к более локальным структурам. Это положение рассмотрено в ряде работ В. И. Смирнова [340, 341, 342], отчетливо показавшего на примере складчатых областей, что к различным тектоническим элементам этих структур приурочены и определенные группы месторождений. В свою очередь, в пределах разных тектонических зон складчатых областей выделяются более локальные структуры, например антиклинали и синклинали, характеризующиеся специфическими, но в то же время различными группами месторождений.

Такая тесная связь тектоники с металлогенией отчетливо продемонстрирована В. А. Кузнецовым [186] на примере сложно построенной Алтае-Саянской металлогенической провинции, в пределах которой каждому крупному тектоническому элементу соответствует специфический комплекс рудных месторождений (рис. 1).

Таким образом, указанная выше закономерность имеет общее значение, не ограниченное масштабом (рангом) тектонических структур. Рассматриваемая закономерность, выступающая в роли закона, настолько очевидна, что порой, как показывает практика металлогенических исследований, недостаточно учитывается при региональных металлогенических работах, особенно в тех случаях, когда вопрос касается выявления новых типов месторождений.

В последние годы в изучении металлогении главных структурных элементов земной коры — геосинклинально-складчатых областей, платформ и областей автономной тектоно-магматической активизации — достигнуты значительные успехи. Эти достижения связаны прежде всего с выделением среди геосинклинально-складчатых областей и платформ определенных металлогенических типов, для которых характерны строго определенные группы эндогенных рудных месторождений со строго опре-

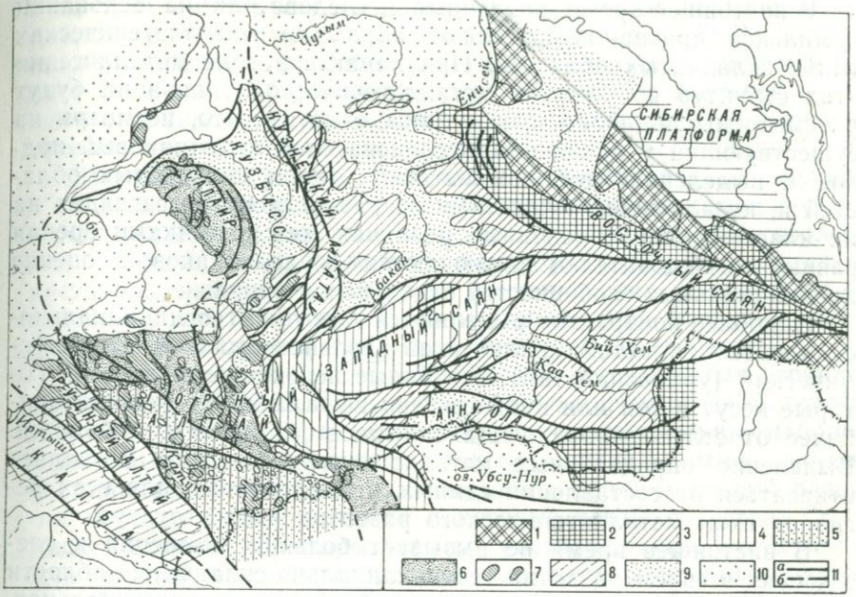


РИС. 1.
Структурно-металлогеническая схема Алтае-Саянской складчатой области. По В. А. Кузнецову.

1 — краевые поднятия фундамента Сибирской платформы: архейские гнейсы, гранитные интрузии, слюдоносные пегматиты; *2* — зоны протерозойской (байкальской) складчатости: метаморфические сланцы протерозоя и терригенно-карбонатные толщи синия с докембрийскими гранитоидами, наложенные каледонские и герцинские (?) интрузии и связанное с ними оруденение (железо, золото, молибден, карбонатитовые руды и др.); *3* — зоны кембрийской (салаирской) складчатости: существенно эффузивно-осадочные и карбонатные толщи раннего кембрия и синия; салаирские комплексы гипербазитов, габброидов, габбро-плагиогранитов, гранитоидов и связанные с ними месторождения железа, золота, титана, никеля, хрома, асбеста и др.; наложенные позднекаледонские и герцинские интрузии и оруденение (железо, кобальт, ртуть и др.); *4* — зоны каледонской складчатости: существенно флишоидные толщи кембро-ордовика; таконские гранитоидные интрузии с вольфрам-молибденовыми рудопроявлениями; *5* — зоны (Чарышско-Теректинская) каледонско-герцинской складчатости: существенно флишоидные толщи кембро-ордовика; таконские гранитоиды; девонские эффузивно-осадочные толщи с вулканогенно-осадочными гематитовыми рудами; герцинские габброидные и гранитоидные интрузии и связанные с ними месторождения железа, кобальта, редких металлов, вольфрама и молибдена; *6* — Ануйско-Чуйская каледонско-герцинская зона: терригенно-карбонатные формации кембро-ордовика, силура, девонские эффузивно-осадочные формации; интрузивные, главным образом гранитные, комплексы с месторождениями вольфрама, молибдена, полиметаллических руд; связанные с разломами месторождения полиметаллических и ртутных руд; *7* — герцинские гранитоидные комплексы; *8* — складчатые зоны герцинской Зайсанской складчатой системы; *9* — герцинские краевые и межгорные прогибы; *10* — мезо-кайнозойские прогибы; *11* — зоны глубинных разломов (*а*), разломы меньшего масштаба (*б*)

деленными закономерностями размещения. Все большее признание находят представления о негеосинклинальных подвижных структурах земной коры или областях тектонической активизации и их металлогении. Эти структуры характеризуются развитием особого комплекса эндогенных месторождений, существенно отличающихся по особенностям проявления от месторождений складчатых областей и платформ.

В настоящее время различные исследователи на основании комплекса признаков выделяют несколько металлогенических типов складчатых областей. При характеристике металлогении этих структур вопросы их металлогенической типизации будут рассмотрены подробно. Здесь лишь отметим, что, несмотря на существующий у различных исследователей неодинаковый подход к выделению металлогенических типов складчатых областей и, казалось бы, существенные разногласия во взглядах на их классификацию, основные различия между точками зрения разных исследователей заключаются в неодинаковой оценке провинциальных особенностей отдельных регионов.

Наиболее контрастно выделяются два типа геосинклинально-складчатых областей: сиалический (дальневосточный тип) и фемический (уральский тип), связанные переходными типами, которые несут в той или иной степени выраженные признаки наиболее отчетливо проявляющихся типов складчатых областей. Выделение определенных металлогенических типов позволяет отказаться от составления единых, универсальных для всех регионов схем металлогенического развития этих структур.

В настоящее время не вызывает больших сомнений и следующее: в своем развитии геосинклинально-складчатые области проходят три стадии: а) первая, собственно геосинклинальная, связана с общим устойчивым прогибанием (ранняя стадия); б) вторая соответствует периоду главных фаз складчатости и общих восходящих движений (средняя стадия); в) третья характеризует преобразование геосинклинальной области в область завершенной складчатости и связана с консолидацией складчатых структур (поздняя стадия).

Каждая стадия отличается особым набором осадочных, осадочно-вулканогенных и магматических формаций и связанными с ними комплексами месторождений. В геосинклинально-складчатых областях разных типов устанавливаются качественные и количественные отличия в проявлении тех или иных геологических формаций, что и обусловливает в конечном счете существование различных типов геосинклинально-складчатых областей.

Сложный вопрос о типах подвижных областей и стадиях их развития достаточно дисскусионен. Для целей нашей работы нет необходимости рассматривать историю представлений по этим вопросам и все существующие точки зрения. Они отражены в специальных работах [29, 181, 473]. Здесь необходимо подчеркнуть, что для целей металлогенического анализа следует прежде всего выделять наиболее контрастные типы складчатых областей, приводя их обобщенную характеристику развития. Такими, на наш взгляд, являются подвижные (геосинклинально-складчатые) области уральского и дальневосточного типов. Это как бы полярные структуры, между которыми имеется целая гамма переходных и самостоятельных типов подвижных зон.

Так, Э. Н. Янов [473] выделяет по результатам формационного анализа геологических образований территории СССР 12 типов геосинклинальных прогибов и 7 типов подвижных систем и областей. И в этом развернутом ряду подвижных областей и геосинклинальных зон уральский и сихотэ-алинский (дальневосточный) типы занимают контрастные «крайние» позиции.

Древние платформы, геосинклинально-складчатые области и области тектоно-магматической активизации характеризуются строго определенными комплексами эндогенных месторождений (табл. 2). Месторождения платформ резко отличаются от месторождений других крупных тектонических элементов земной коры, хотя некоторые типы месторождений близки к месторождениям складчатых областей фемического профиля.

В особую группу металлогенических региональных структур выделяются области автономной тектоно-магматической активизации [240, 458], характеризующиеся специфическим набором эндогенных месторождений. Между определенными типами месторождений областей активизации и поздних стадий развития складчатых зон имеются некоторые черты сходства. Такое общее сходство некоторых групп месторождений представляется вполне естественным, так как месторождения поздних стадий развития геосинклинально-складчатых областей формируются в геотектонических условиях, приближающихся к таковым в активизированных областях, когда происходит консолидация складчатых сооружений при все более возрастающей жесткости структур и увеличивающейся роли разрывных нарушений.

Однако следует иметь в виду, что это только формальное сходство, в большинстве случаев определяемое одинаковым набором ведущих полезных ископаемых, месторождения которых в складчатых зонах и областях активизации в то же время существенно отличаются специфическими геологическими геохимическими особенностями. Эти вопросы были рассмотрены нами ранее в специальных работах [458, 460].

Иными словами, три крупных тектонических элемента земной коры — геосинклинально-складчатые области, платформы и области автономной активизации — резко отличаются между собой по ряду типичных признаков, в том числе и по металлогеническим особенностям, что тесно связано со всем ходом геологического развития данных структур земной коры. Эта взаимосвязь, а также специфика металлогенических процессов и их различия отражены в табл. 2.

В пределах указанных структурных элементов выделяются структуры более высоких порядков, с которыми также закономерно связаны определенные комплексы месторождений. Естественно, не все структуры рудоносны; кроме того, в сходных структурах оруденение проявляется с различной интенсивностью, однако, как правило, сходные типы тектонических

ТАБЛИЦА 2

Характерные особенности геологического развития и эндогенной металлогении крупных тектонических элементов континентального блока земной коры

Характерные особенности	Геосинклинально-складчатые области		Платформы	Области автономной активизации
	дальневосточный тип	уральский тип		
I. Характер субстрата (фундамента)	Геосинклинальные зоны ранних циклов, реже платформы Материковая кора	Океаническая кора	Консолидированные геосинклинальные зоны	Платформы; консолидированные геосинклинальные зоны, достигшие платформенного состояния; срединные массивы
II. Ведущий тип тектонических движений	Складчатые движения		Колебательные движения	Разрывные движения
III. Общий характер тектонического развития, стадийность развития	Направленное, стадийное, полицикличное. Отчетливо выделяются три стадии: собственно геосинклинальная; общих восходящих движений и главных фаз складчатости; консолидации складчатых структур		Направленное, стадийное единообразное. Отчетливо выделяются четыре стадии: формирования фундамента; континентального осадконакопления; устойчивого медленного погружения; контрастных дифференцированных движений	Направленное, стадийное. Отчетливо выделяются две стадии: «вулканогенных наложенных прогибов» и «терригенных наложенных впадин», проявляющиеся в континентальных условиях на общем фоне положительных вертикальных движений
IV. Осадочные и вулканогенные формации	Терригенные морские: флишевая и флишоидная, прибрежная песчанико-	Морские осадочно-вулканогенные (спилит-кератофировые и порфиро-	Морские карбонатные и терригенные, реже континентальные угленосные	Наземные, вулканогенные, угленосные пестроцветные, молассы

	сланцевая, молассы	вые), карбонатные, песчанико-сланцево-карбонатные		
V. Магматизм	Широкое проявление гранитов, реже гранодиоритов	Широкое проявление основных и ультраосновных интрузий, плагиогранитов, гранодиоритов	Траппы: основные и ультраосновные интрузии. Щелочные комплексы; кимберлиты	Трещинные интрузии гранодиорит-монцонитов; гранит—гранит-порфиров; щелочных пород. Основные щелочные интрузии (лимбургиты, тешениты, кринаниты). Щелочные базальты
VI. Время формирования	Характерны для всей истории развития земной коры	Характерны для всей истории развития земной коры	С начала неогея	Отчетливо устанавливаются со среднего протерозоя. Контрастно проявляются в позднем палеозое — раннем мезозое и кайнозое
VII. Складчатость	Весьма интенсивная, резко контрастная, линейная	Весьма интенсивная, резко контрастная, линейная	Прерывистая, куполовидная	Приразломная, ограниченная
VIII. Роль разрывных нарушений	Значительная	Значительная	Значительная	Очень большая; предопределяющая проявление интрузий и месторождений
IX. Процессы метаморфизма	Интенсивный региональный и контактовый, реже динамический	Интенсивный региональный и контактовый, реже динамический	Слабый контактовый	Интенсивный динамический, приразломный, контактовый

Продолжение табл. 2

Характерные особенности	Геосинклинально-складчатые области		Платформы	Области автономной активизации
	дальневосточный тип	уральский тип		
X. Характерные черты металлогении				
1. Ведущие элементы	Sn, W, Mo, Au, F, Pb, Zn, Hg, Sb	Cr, Pt, Ti, Fe, Cu, Au, Zn, Pb	Cu, Ni, Pt, Cr, Th, P	Pb, Zn, Cu, Ag, U, F, Sn, W, Sb, Hg, Ba, Mn
2. Главные генетические типы эндогенных месторождений	Гидротермальные высоко- и среднетемпературные, реже низкотемпературные	Магматические, скарновые, высокотемпературные гидротермальные; вулканогенно-осадочные	Магматические	Гидротермальные среднетемпературные, эпитермальные, телетермальные
3. Специфические элементы и месторождения, наиболее характерные для данного типа структур	Sn, W, Mo, Au; высокотемпературные гидротермальные оловянные и вольфрамовые, редкометальные (Sn, W) пегматиты и грейзены	Cr, Pt; магматические хромитовые и платиновые; скарновые железорудные; колчеданные (Cu, Pb, Zn)	Ni, Cu, P, алмазы; магматические медно-никелевые и апатитовые, алмазоносные кимберлиты; стратиформные (Cu, Pb, Zn) в чехле платформ	Pb, Zn, U, F, Mn, Sn, W месторождения «пятиэлементной» формации, флюоритовые и марганцевые эпитермальные полиметаллические и флюоритовые
4. Главнейшие типы металлогенических провинций	Восточно-Забайкальская оловянно-вольфрамовая; Колымская золоторудная; Приморская оловорудная?	Уральская хромито-платиновая и железорудная; Саянская железорудная	Норильская медно-никелевая; Бушвельдская платино-хромитовая; Сибирская алмазоносная	Западно-Европейская с комплексными рудами; Западно-Забайкальская флюоритоносная; Восточно-Африканская редкоземельная; Южно-Китайская оловянно-вольфрамовая; Канадская урановая

XI. Области развития магматических очагов	Гранитный слой	Базальтовый слой		Базальтовый слой	Верхняя мантия на границе с базальтовым слоем
XII. Предполагаемый разрез тектоносферы	Мощная сиалическая кора с погруженной мантией		Мощный базальтовый слой при практическом отсутствии гранитного с выступами верхней мантии	Мощная земная кора с погруженной верхней мантией	Уменьшенная мощность земной коры при подчиненном значении гранитного слоя и малых глубинах залегания верхней мантии

структур характеризуются и сходными группами месторождений. Такая взаимосвязь тектонического строения и оруденения характерна практически для структур разных порядков и, по нашему мнению, имеет характер геологического закона, признание которого необходимо для выявления конкретных закономерностей размещения месторождений в земной коре. Роль тектоники в изучении вопросов размещения месторождений полезных ископаемых многогранна, ее невозможно переоценить. Н. П. Херасков [423], пожалуй, первый посвятил этой проблеме интересные и крупные исследования, показав широкие возможности тектонического анализа при изучении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

Проблемы связи геотектоники и эндогенных рудных процессов по-прежнему продолжают волновать ученых [29, 291, 350, 527, 534]. В этом плане следует остановиться на работе В. И. Смирнова [352], рассмотревшего в последнее время вопросы цикличности эндогенного рудообразования и его направленность. По мнению В. И. Смирнова, металлогенические эпохи намечаются на основании повторямости основных элементов тектонических событий, магматизма и рудообразования. Однако они не обладают повсеместными строго фиксированными границами как во времени, так и в пространстве. В. И. Смирнов считает, что понятия «металлогеническая эпоха» и «металлогенический цикл» применительно к большинству металлогенических областей являются универсальными только по типу геологического процесса, но отнюдь не по строгой их фиксации во времени и в пространстве. Он подчеркивает, что соотношение трех стадий геосинклинального развития неравнозначно по времени. Ранняя, или собственно геосинкли-

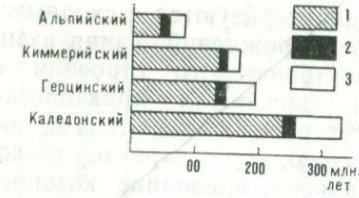


РИС. 2.
Соотношение ранней (*1*), средней (*2*), и поздней (*3*) стадий геосинклинальных этапов по их длительности (каледонский этап, включая венд). По В. И. Смирнову [352]

нальная (начальная, доскладчатая, доорогенная, океаническая), стадия является самой длительной, охватывающей от 50 до 70% времени геосинклинального этапа, а средняя (инверсионная, складчатая) стадия оказывается самой короткой, занимающей 5—15% этого времени (рис. 2).

Известно, что в ходе развития земной коры площади геосинклиналей от протерозоя к более молодым эпохам, вплоть до альпийской, отчетливо сокращаются. Однако масштабы эндогенного геосинклинального рудообразования заметных тенденций к сокращению не обнаруживают; в то же время отчетливо наблюдается возрастание роли процессов тектоно-магматической активизации от более древних эпох к молодым и соответственно увеличение роли эндогенных месторождений, связанных с этими процессами.

Рассмотрение главных особенностей развития каждого крупного структурного элемента земной коры, а также сопоставление их между собой приводят к выводу о связи геологических и металлогенических процессов, происходящих в этих структурах, с развитием определенных зон тектоносферы. Большинство исследователей платформ считают, что их эволюция обусловлена развитием базальтового слоя земной коры, о чем в первую очередь свидетельствует характер проявления магматических процессов — широкое развитие на платформах основных и ультраосновных магм; признаков проявления на платформах кислых пород, связанных с плавлением сиалической оболочки, практически нет [45].

Причины, приведшие к возникновению складчатых зон разных типов, еще не ясны; они связаны, по-видимому, с особенностями заложения геосинклинальных трогов в пределах качественно различных участков земной коры. Действительно, новые данные, полученные в последние годы в результате широких геофизических исследований, показывают, что состав земной коры и верхней мантии весьма неоднороден, а сиалический слой имеет прерывистое строение и различную мощность. Вероятно, складчатые зоны могут закладываться как на симатическом, так и на сиалическом слоях земной коры, что, очевидно, и приводит к возникновению их разных типов.

В отличие от складчатых зон и платформ развитие областей автономной активизации, очевидно, связано с более глубинными

процессами, происходящими, по-видимому, в верхней мантии. На это указывают специфическое строение тектоносферы в областях активизации, характерной особенностью которых является уменьшенная мощность земной коры при увеличенных размерах базальтового слоя, а также совпадение областей активизации с отрицательными гравиметрическими аномалиями, связанными с особенностями состояния слоев верхней мантии. На специфический характер строения тектоносферы в областях активизации и участие в их развитии глубинных, мантийных частей указывает необычный порядок проявления магматизма в областях активизации, обратный той направленности, которая устанавливается на платформах и в геосинклинальных зонах. Здесь процессы магматизма начинаются с формирования кислых и заканчиваются образованием щелочных основных пород. Повышенная щелочность основных магм в областях активизации, как подчеркивает В. В. Белоусов [26, 27], указывает на их более глубинное происхождение по сравнению с геосинклинальной и платформенной магмами.

Необходимо отметить, что области активизации часто развиваются на докембрийском кристаллическом основании древних щитов и срединных массивов, уже значительно эродированных к моменту проявления процессов активизации. Такой субстрат представляет собой маломощный инертный сиалический (гранито-гнейсовый) слой земной коры, который, по-видимому, только отражает развитие сложных процессов, протекающих в нижележащих слоях тектоносферы.

Изложенные выше соображения о связях складчатых зон, платформ и областей активизации с различными частями тектоносферы показывают, что формирование этих крупных тектонических элементов земной коры, по-видимому, обусловлено развитием разных частей земного геоида. Так, на платформах проявление специфического магматизма, сопровождаемого характерным комплексом месторождений, связано, видимо, с развитием базальтового слоя земной коры; для складчатых зон возможно их развитие в пределах как симатического, так и гранитного слоев, но без перехода в верхнюю мантию. Области автономной активизации являются планетарными структурами, для которых, по имеющимся данным, предполагается связь с процессами, происходящими в верхней мантии на границе (?) с базальтовым слоем.

Такие общие особенности связи крупных тектонических элементов земной коры с глубинным строением находят отражение и в специфике металлогении этих планетарных структур. Связь областей активизации с мантийными участками тектоносферы, характеризующимися особым строением, намечается во многих регионах, например в Западной Европе, где области активизации приурочены к срединным массивам с выведенным на поверхность маломощным гранито-гнейсовым слоем.

В настоящее время широко известно, что месторождения минерального сырья встречаются в главных структурах земной коры неравномерно. Месторождения разных полезных ископаемых и их типов проявляются не одинаково также во времени, и развитие их связано с различными по возрасту геологическими формациями. Месторождения одних элементов образуют промышленные концентрации в связи с развитием древних структур, месторождения других элементов характерны только для более молодых по возрасту тектонических структур. Несмотря на такую общую неравномерность проявления месторождений в земной коре, анализ закономерностей их размещения на фоне главных геологических процессов развития нашей планеты позволяет выявить общие черты эволюции месторождений в земной коре, наметить главные тенденции в развитии металлогенических процессов в пространстве и во времени. Этим вопросам посвящены труды С. С. Смирнова [361, 362], Ю. А. Билибина [44, 45, 49], В. И. Смирнова [340, 341, 344], Д. В. Рундквиста [325], А. И. Семенова [330, 332], И. Г. Магакьяна [218, 219], Г. А. Твалчрелидзе [388, 391], Д. И. Горжевского и В. Н. Козеренко [95] и др.

Г. А. Твалчрелидзе [388], анализируя процесс развития рудных месторождений во времени, приходит к выводу, что в этом сложном и далеко еще не изученном процессе намечаются две противоположные тенденции: с одной стороны, устанавливается повторяемость месторождений одних и тех же рудных формаций от одной эпохи к другой, а с другой,— отчетливо проявляется тенденция, когда определенные группы рудных месторождений возникают только один раз, не повторяясь в другое время. По Д. В. Рундквисту [325], примерный ряд последовательного развития месторождений главных рудных элементов в истории геологического развития земной коры (по максимумам их проявления) может быть представлен в следующем виде: Fe, Ti, Pt,Cr, Co, Ni — докембрийские-раннепалеозойские; Cu (?), Zn, Pb, Be, W, Sn — позднепалеозойские-мезозойские; Mo, Bi, Sb, As, Hg, Ag, B, Au (?), U (?) — мезо-кайнозойские.

Таким образом, одни элементы обнаруживают тенденцию ко все более интенсивному накоплению и образованию максимума в молодые эпохи (Mo, B, Sb, As, Ag, Hg, Bi), а другим присуща противоположная тенденция — закономерное убывание интенсивности накопления после максимума образования в наиболее древние эпохи (Fe, Ti, Pt, Cr, Co, Ni).

Весьма четко прослеживается и эволюция генетических типов рудных месторождений в истории геологического развития земной коры [325, 344]. В общем виде эта закономерность выражается в следующем: от древних эпох к более молодым наблюдается прогрессивное увеличение числа генетических типов месторождений, при этом месторождения, возникающие во все более поздние периоды развития, становятся сложнее по соста-

ву, строению и более индивидуальны по геологическим особенностям и особенностям минерального состава. Одновременно с этим закономерна и специализация генетических типов во времени, когда месторождения пегматитов, собственно магматические и скарновые характерны для более древних, а субвулканические и эпитермальные месторождения — для более молодых геологических эпох.

По мнению В. И. Смирнова [344], основная эволюция магматических и рудных процессов в геосинклинально-складчатых областях во времени заключается в том, что от протерозойской до герцинской эпохи включительно отчетливо проявлялись интрузии и эндогенные месторождения ранних стадий геосинклинальных циклов, а от герцинской до альпийской эпохи нарастало значение малых интрузий и связанных с ними эндогенных месторождений поздних стадий развития. В. И. Смирнов [344] полагает, что герцинское время является переломным моментом в проявлении рудных процессов в неогее, так как оно выделяется широким развитием различных генетических групп эндогенных месторождений. Кроме того, в догерцинское время широко развиты ультраосновные и основные интрузии, сопровождаемые эндогенными месторождениями ранних стадий геологических циклов, а в послегерцинское — преобладают гранитоидные породы и гидротермальные месторождения, связанные с ними.

Другая граница в проявлении рудных процессов в земной коре намечается между археем и протерозоем; это находит отражение и в геологических особенностях развития земной коры в эти эпохи [93, 344, 388].

Наиболее отчетливо главнейшие особенности металлогенической эволюции земной коры и ее главных структурных элементов, подчеркивающие необратимый характер проявления рудных процессов в ходе развития нашей планеты, выявляются при анализе и характеристике металлогенических провинций и металлогенических эпох.

Понятие о металлогенических провинциях и металлогенических эпохах не новое, однако современный фактический материал позволяет вкладывать в старые представления более глубокое содержание, отражающее уровень знаний сегодняшнего дня.

Еще в 1913 г. известный французский геолог де Лоне писал: «Мысль, которую мы пытались провести и точно сформулировать и которую мы считаем плодотворной,— это понятие о **металлогенических провинциях,** относящихся каждая к особому региональному типу, зависящему от тектоники и до известной степени могущих быть предваренными ею. По нашему мнению, надо начать с составления методического перечня рудных месторождений, разбивая их на классы, но не по их механическому или минералогическому характеру, не по металлу, а географически,

или, скорее, тектонически, по районам, каждый раз сравнивая металлогенический тип с типом тектоническим и устанавливая этим путем законы, которые будут тем надежнее, чем большее количество согласных между собой примеров будет их обосновывать» [264, с. 4]. По существу в этой мысли, высказанной более шестидесяти лет назад, находят отражение современные представления о металлогенических провинциях как определенных крупных рудоносных территориях, специализированных на определенные типы полезных ископаемых, формирование которых обусловлено проявлением на данной площади особого тектонического режима.

Ю. А. Билибин под металлогеническими провинциями понимал «те геологические, а иногда даже географические провинции, которые характеризуются развитием в их пределах определенного типа или определенных типов рудных месторождений и которые тем самым характеризуются определенными чертами своей металлогении» [45, с. 5—6].

В. И. Смирнов [341, 344] металлогенические провинции выделяет по принципу оконтуривания площадей развития месторождений определенной эпохи. Во многих случаях контуры металлогенических провинций, выделенных по этому принципу, совпадают с границами крупных тектонических структур. В. Петрашек [526] посвятил интересную работу принципам выделения металлогенических провинций, предложив при их выделении обязательно учитывать два признака: преобладание в пределах той или иной рудоносной территории определенных типов полезных ископаемых и интенсивность проявления той или иной минерализации. По В. Петрашеку, металлогеническая провинция — это совокупность месторождений полезных ископаемых, которые образовались в одну тектоно-магматическую эпоху в пределах основной тектонической единицы и которые характеризуются сходным минеральным составом, типом месторождений и интенсивностью минерализации.

В настоящее время при выделении металлогенических провинций большинство исследователей наряду с типом месторождений, развитых на той или иной рудоносной территории, и их возрастом пытаются учитывать тектонические особенности развития регионов и по существу на этой основе в первую очередь производить оконтуривание крупных рудоносных площадей, в пределах которых развиты рудные месторождения или одного металла и генетического типа или нескольких типов и металлов, сформировавшихся или в строго определенный период развития конкретных структур или проявляющихся на разных стадиях их эволюции.

Таким образом, единого подхода к выделению металлогенических провинций пока нет. По нашему мнению, он и не обязателен. Металлогенические провинции — наиболее крупные единицы в региональном районировании рудоносных площадей —

могут выделяться на основе различных принципов, однако в настоящее время, как показывает практика металлогенических исследований, при выделении рудоносных площадей такого ранга тектонические условия возникновения месторождения практически всегда учитываются.

Как правило, формирование различных металлогенических провинций определяется следующими факторами [340, 344]:

а) тектоническим типом геосинклинально-складчатых областей, платформ и областей активизации;

б) их геологическим возрастом;

в) полнотой проявления стадий развития этих крупных тектонических элементов земной коры;

г) характером и широтой распространения развитых в их пределах геологических формаций (осадочных, осадочно-вулканических, магматических и др.), свойственных разным стадиям;

д) глубиной эрозионного среза.

Однако многие исследователи, особенно за рубежом, по-прежнему считают, что под металлогеническими провинциями наиболее целесообразно понимать обширные площади развития месторождений определенных металлов или их групп, окруженные безрудными площадями или другими провинциями [399, 525].

Здесь не приводятся примеры металлогенических провинций, выделение которых основано на разных принципах, так как вопросам металлогенического районирования рудоносных территорий посвящен специальный раздел.

Другим важным металлогеническим понятием является понятие о металлогенических эпохах, под которыми понимаются эпохи (крупные отрезки геологического времени) образования рудных месторождений, соответствующие главным периодам геологического развития крупных тектонических элементов земной коры.

Г. А. Твалчрелидзе [388], анализируя возраст рудных месторождений мира, выделил семь металлогенических эпох: архейскую, раннепротерозойскую, среднепротерозойскую, раннерифейскую, позднерифейскую, палеозойскую, мезо-кайнозойскую. По его мнению, современный материал о возрасте рудных месторождений свидетельствует о том, что месторождения возникают наиболее часто в периоды, соответствующие главнейшим платформообразующим эпохам, выделенным в истории развития земной коры М. В. Муратовым. Сводная характеристика главнейших металлогенических эпох земной коры и типичные рудные формации, свойственные этим периодам времени, даны в табл. 3.

Анализ эволюции рудообразующих процессов по металлогеническим эпохам свидетельствует об определенных изменениях в интенсивности проявления рудных процессов в земной коре, отраженных в развитии преобладающих рудных формаций. Эта

ТАБЛИЦА 3

Главнейшие металлогенические эпохи и их рудные формации. По Г. А. Твалчрелидзе [388]

Главнейшие металлогенические эпохи	Главнейшие платформообразующие эпохи складчатости	Интенсивность проявления процессов рудной минерализации	Главнейшие рудные формации	
			геосинклинального типа	платформенного типа
Мезо-кайнозойская (150—0)	Альпийская (50)	Средняя	Медноколчеданная, колчеданно-полиметаллическая, хромитовая, скарново-магнетитовая, сульфидно-касситеритовая, кварц-касситерит-вольфрамитовая, медно-молибденовая, жильная золото-теллуровая, пропилитовая золото-серебряная, ртутно-сурьмяная	Свинцово-цинковая в карбонатных породах, медистых песчаников, пятиэлементная, карбонатитовая, кимберлитовая, медно-никелевая
Палеозойская (500—150)	Герцинская (200)	Высокая	Медноколчеданная, колчеданно-полиметаллическая, хромитовая, титаномагнетитовая, платиновая, скарно-магнетитовая, грейзеновая оловянно-вольфрамовая, скарновая свинцово-цинковая, сурьмяно-ртутная	Свинцово-цинковая в карбонатных породах, медистых песчаников, пятиэлементная, кимберлитовая, карбонатитовая, апатитовая, медно-никелевая
Позднерифейская	Байкальская (700—500)	Очень высокая	Медноколчеданная, магнетит-ильменитовая, хромитовая, жильная кварцевая, золоторудная, пегматитовая	Свинцово-цинковая в карбонатных породах, медистых песчаников и сланцев (часто с Co и U), пегматитовая с ураном, грейзеновая оловянно-вольфрамовая, кимберлитовая
Раннерифейская (1650—900)	Готская (1000—900)	Слабая	Джеспилитовая, железо-сульфидная с ураном, жильная кварцево-редко-	Медно-никелевая, медно-никель-серебро-кобальтовая (типы Садбе-

Среднепротерозойская (1800—1650)	Гудзонская (1700—1650)	Средняя	металльная (W, Sn, Au—Ta, Nb), пегматитовая, железо-марганцевая, железо-титановая	ри—Дулут)
			Колчеданно-полиметаллическая, джеспилитовая, пегматитовая, хромитовая	Металлоносных конгломератов, пятиэлементная
Раннепротерозойская (2500—1800)	Беломорская (2000—1800)	Очень высокая	Джеспилитовая, хромитовая, железо-марганцевая, жильная кварцево-золоторудная, медная (линзы в метаморфитах)	Золота и урановосных конгломератов, медистых песчаников, хромит-медно-никелевая с Pt, V, Sn, Au (тип Бушвельд)
Архейская (3500—2500)	Южно-Родезийская (2700—2500)	Слабая	Магнетит-гиперстеновая, магнетит-амфиболовая, пегматитовая с Ta—Nb, жильная кварцево-золоторудная	

В скобках дан возраст в млн. лет.

особенность на примере месторождений олова, золота, молибдена и железа отчетливо проиллюстрирована (рис. 3) Д. И. Горжевским и В. Н. Козеренко [95]. В. И. Смирнов [344] показал, что интенсивность проявления разных генетических групп эндогенных месторождений весьма неодинакова в различные металлогенические эпохи (рис. 4).

Здесь следует остановиться на представлениях В. И. Казанского, Н. П. Лаверова и А. И. Тугаринова [144], считающих, что процессы рудообразования закономерно изменяются во времени и для каждой геологической эпохи характерны определенные типы месторождений. Это положение развивается ими на примере месторождений урана, для которых устанавливаются определенные эволюционные ряды месторождений и подчеркивается закономерная «смена поколений» рудных образований. По мнению этих исследователей, для докембрия строго характерны определенные группы месторождений, неизвестные в пределах более молодых эпох.

Металлогенические провинции обычно характеризуются строго определенным комплексом рудных месторождений и набором металлов, которые придают им специфи-

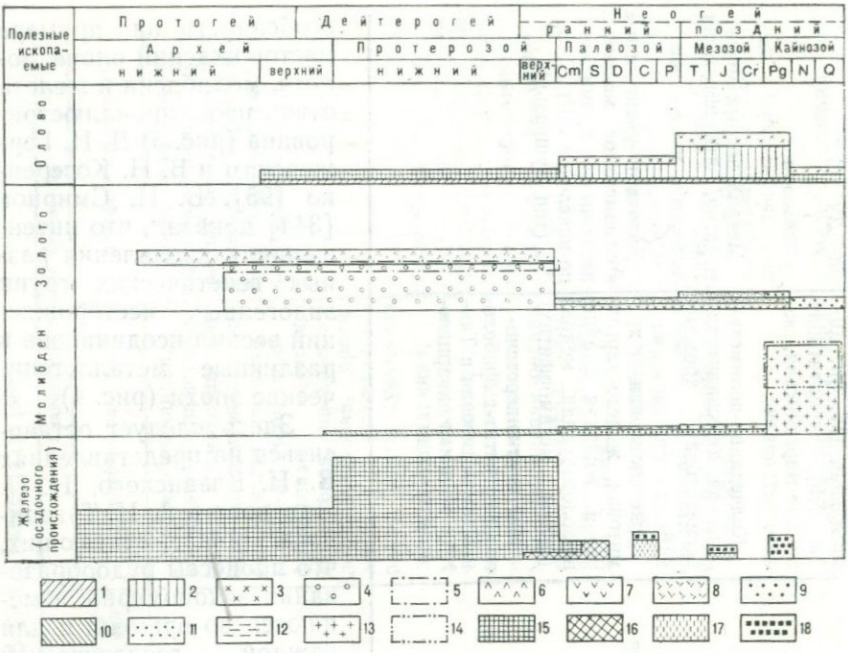


РИС 3.
Изменение интенсивности процессов рудообразования и характера преобладающих рудных формаций в связи с этапами развития земной коры. По Д. И. Горжевскому и В. Н. Козеренко [95].

1 — оловорудные месторождения пегматитовой формации; *2* — оловорудные месторождения касситерит-кварцевой формации; *3* — оловорудные месторождения касситерит-сульфидной формации; *4* — золотоносные конгломераты; *5* — золотоносные конгломераты (без Витватерсранда); *6* — малосульфидная золоторудная формация; *7* — умеренносульфидная золоторудная формация; *8* — богатосульфидная золоторудная формация; *9* — юная золото-серебряная формация; *10* — молибденовая формация; *11* — молибденит-кварцевая формация; *12* — молибденит-шеелитовая формация в скарнах; *13* — молибденит-серицит-кварцевая и молибденит-серицит-халькопирит-кварцевая формации; *14* — молибденит-серицит-кварцевая и молибденит-серицит-халькопирит-кварцевая формации (без Клаймакса); *15* — железистые кварциты и джеспилиты; *16* — морская геосинклинальная железорудная формация; *17* — геосинклинально-платформенная железорудная формация; *18* — платформенная железорудная формация.
Группировка оловорудных формаций принята по данным С. С. Смирнова, О. Д. Левицкого и Е. А. Радкевич; золоторудных (за исключением золотоносных конгломератов) — по данным Н. В. Петровской; молибденовых — по данным Н. А. Хрущова; железорудных — по данным Н. М. Страхова и Л. Н. Формозовой. Запасы руд железистых кварцитов и джеспилитов изображены вне масштаба

ческий, отличный от других провинций металлогенический облик. Так, например, известны оловорудные, золоторудные, полиметаллические и другие провинции, для которых характерно проявление указанных месторождений в разные эпохи, с максимальным развитием специализированных на определенный металл месторождений только в одну из них. На это обстоятельство обращал внимание еще С. С. Смирнов [359], отмечая, что для крупных оловорудных районов всегда характерно проявление разновозрастной оловянной минерализации, на фоне которой

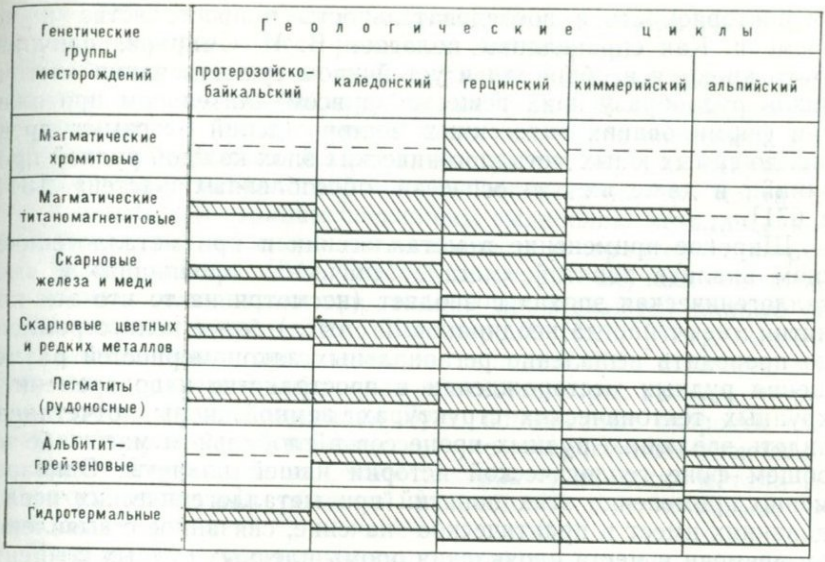


РИС. 4.
Интенсивность развития генетических групп эндогенных рудных месторождений для разных металлогенических эпох. По В. И. Смирнову [344]

только в определенные эпохи возникают крупные промышленные концентрации олова.

Аналогичная картина была установлена нами для флюоритоносной провинции Западного Забайкалья. В этом интересном регионе, где известны различные месторождения полезных ископаемых, флюоритовое оруденение проявляется неоднократно от докембрия до мезозоя в разные периоды развития региона в связи с различными интрузивными породами. Однако наибольшей интенсивности флюоритовая минерализация достигает только в самостоятельных нижнемеловых месторождениях, формирующихся в связи с процессами мезозойской тектоно-магматической активизации древних (байкальских и каледонских) консолидированных складчатых сооружений.

Для контрастно выраженных металлогенических провинций с крупными рудными месторождениями весьма характерны явления неоднократного образования месторождений одного металла (особенно типичных для данной провинции), дающих «яркую» вспышку в виде крупных промышленных концентраций обычно в узком интервале времени в одну из металлогенических эпох, причем в месторождениях строго определенных формаций.

В этом явлении одновременно отражаются общая направленность в металлогеническом развитии регионов, специализация металлогенических процессов в конкретных рудных провинциях,

их повторяемость и последовательность в пространстве и во времени. Как справедливо полагает В. И. Смирнов, причины этого кроются в общности и устойчивом существовании «источников рудообразующих веществ на всем длительном протяжении формирования эндогенных месторождений от самых древних до самых юных металлогенических эпох каждой рудной провинции и даже их геологически обособленных частей» [344, с. 671].

Широкое применение в металлогении и при металлогеническом анализе понятий «металлогеническая провинция» и «металлогеническая эпоха» позволяет (несмотря на то что эти понятия имеют иногда неодинаковый смысл) более целеустремленно проводить выявление региональных закономерностей размещения рудных месторождении в пространстве и во времени в крупных тектонических структурах земной коры, отчетливее видеть эволюцию рудных процессов в глобальном масштабе на общем фоне геологической истории нашей планеты. Одновременно применение этих понятий при металлогенических исследованиях имеет и практическое значение, связанное с выявлением времени и места проявления промышленных рудных концентраций, а также получением рекомендаций по направлению поисковых работ на наиболее перспективных площадях в наиболее благоприятных для развития того или иного типа месторождений регионах.

В пределах металлогенических провинций одни и те же группы рудных формаций часто имеют неодинаковый возраст. При этом устанавливается определенная миграция во времени в проявлении сходных рудных процессов. Такие явления, например, были установлены нами в Юго-Восточном Забайкалье [454]. Для этой редкометальной провинции доказывалось, что относительная последовательность образования оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождений в различных районах провинции является общей, тогда как геологический возраст в пределах западных и восточных районов провинции неодинаков. Причины такой миграции в пространстве и во времени в пределах одной металлогенической провинции однотипных рудных процессов, приведших к образованию сходных, но разновозрастных рудных формаций, еще недостаточно ясны. По-видимому, они связаны с особенностями развития геосинклинального режима, с постепенным перемещением во времени областей максимального прогибания в северо-восточном направлении. Известно, что подобные явления миграции в пространстве и во времени сходных рудных образований и ассоциирующих с ними магматических пород устанавливаются, например, для колчеданных месторождений Урала, некоторых рудных месторождений Казахстана и Средней Азии.

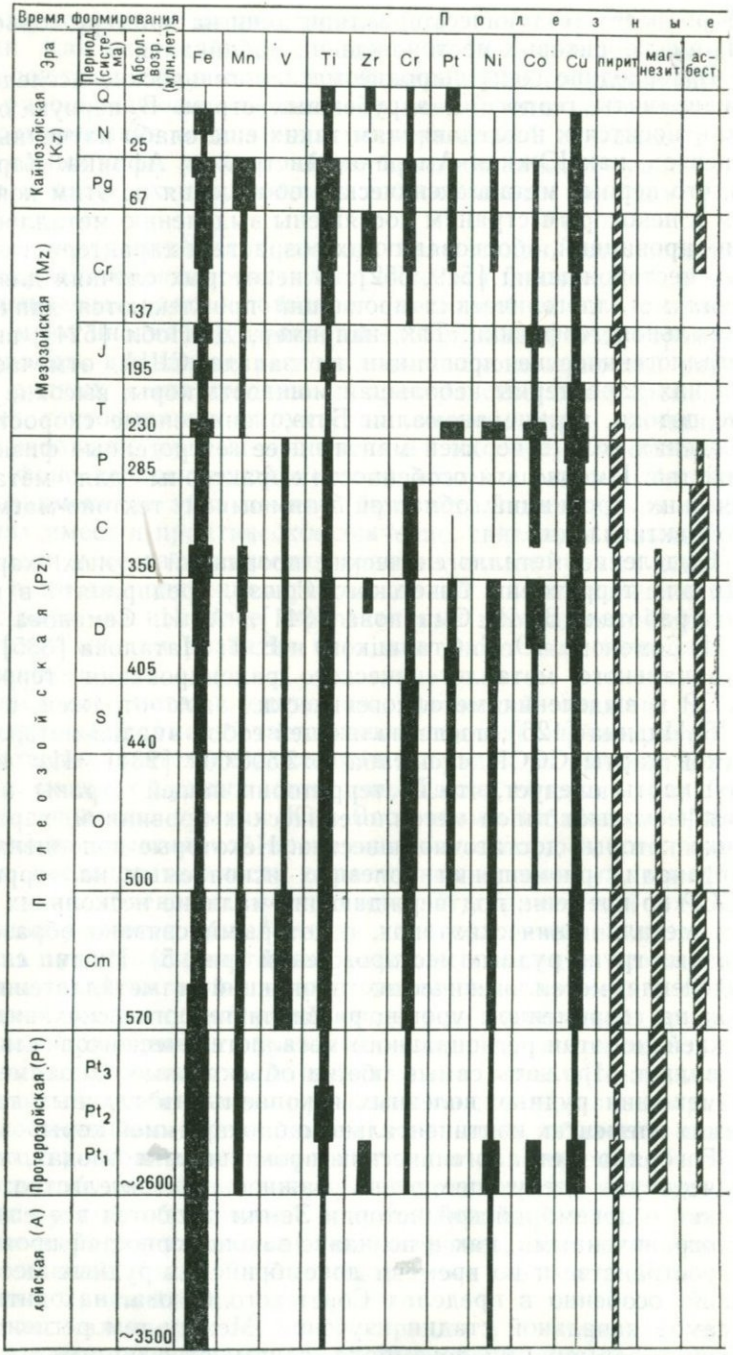
Это же явление «волновой» миграции в пространстве и во времени в проявлении рудных месторождений устанавливается

и в областях тектонической активизации на примере вольфрамовых и флюоритовых месторождений Забайкалья.

В последние годы широкие металлогенические исследования предприняты геологами зарубежных стран. В первую очередь это относится к исследованиям таких еще слабо изученных континентов, как Южная Америка, Австралия, Африка. Характерно, что первые металлогенические обобщения по этим континентам и некоторым странам посвящены выделению металлогенических провинций, обоснованию их возраста и характеристике рудных месторождений [549, 552]. В некоторых случаях для выделения металлогенических провинций привлекаются данные региональной геофизики. Так, например, Д. Нобл [524], выделяя металлогенические провинции на западе США, отмечает, что для них характерны небольшая мощность коры, высокие тепловые потоки, низкие аномалии Бугэ, пониженные скорости прохождения волн в верхней мантии и ее гетерогенные физические свойства. Именно эти особенности характерны для металлогенических провинций областей автономной тектоно-магматической активизации.

Выделение металлогенических провинций и эпох, характерных для территории Советского Союза, предпринято в известных работах В. И. Смирнова [341], А. И. Семенова [333], А. И. Семенова, Ю. Г. Старицкого и Е. Т. Шаталова [335]. Опыт регионального металлогенического районирования территории СССР и выделения металлогенических эпох отражен в книге К. Б. Ильина [126], представляющей собой анализ металлогенической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000 [234]. Из анализа этой карты следует, что на территории нашей страны выделяется несколько типов металлогенических провинций, характеристика которых достаточно известна. Некоторые дополнения вносит анализ размещения полезных ископаемых на территории СССР во времени, подтверждающий наличие нескольких основных металлогенических эпох, с которыми связано образование главных групп рудных месторождений (рис. 5). Иными словами, выделение металлогенических провинций и металлогенических эпох на современном уровне развития геологических знаний — важнейший этап регионального металлогенического анализа, оно позволяет отражать самые общие объективные закономерности размещения рудных полезных ископаемых в главных тектонических элементах континентального блока земной коры.

Говоря о металлогенических провинциях и эпохах, следует подчеркнуть следующее очень важное обстоятельство: наши знания о докембрийской истории Земли остаются все еще весьма ограниченными, как и познание закономерностей проявления в пространстве и во времени докембрийских рудных месторождений, особенно в пределах Советского Союза, находится еще в самой начальной стадии изучения. Между тем регионы, сложенные формациями докембрия, занимают огромные площади,


Время формирования
Эра
Период (система)
Абсол. возр. (млн.лет)
Полезные
Fe
Mn
V
Ti
Zr
Cr
Pt
Ni
Co
Cu
пирит
маг-незит
ас-бест
Кайнозойская (Kz)
Q
N
25
Pg
67
Мезозойская (Mz)
Cr
137
J
195
T
230
Палеозойская (Pz)
P
285
C
350
D
405
S
440
O
500
Cm
570
Протерозойская (Pt)
Pt3
Pt2
Pt1
~2600
Архейская (A)
~3500

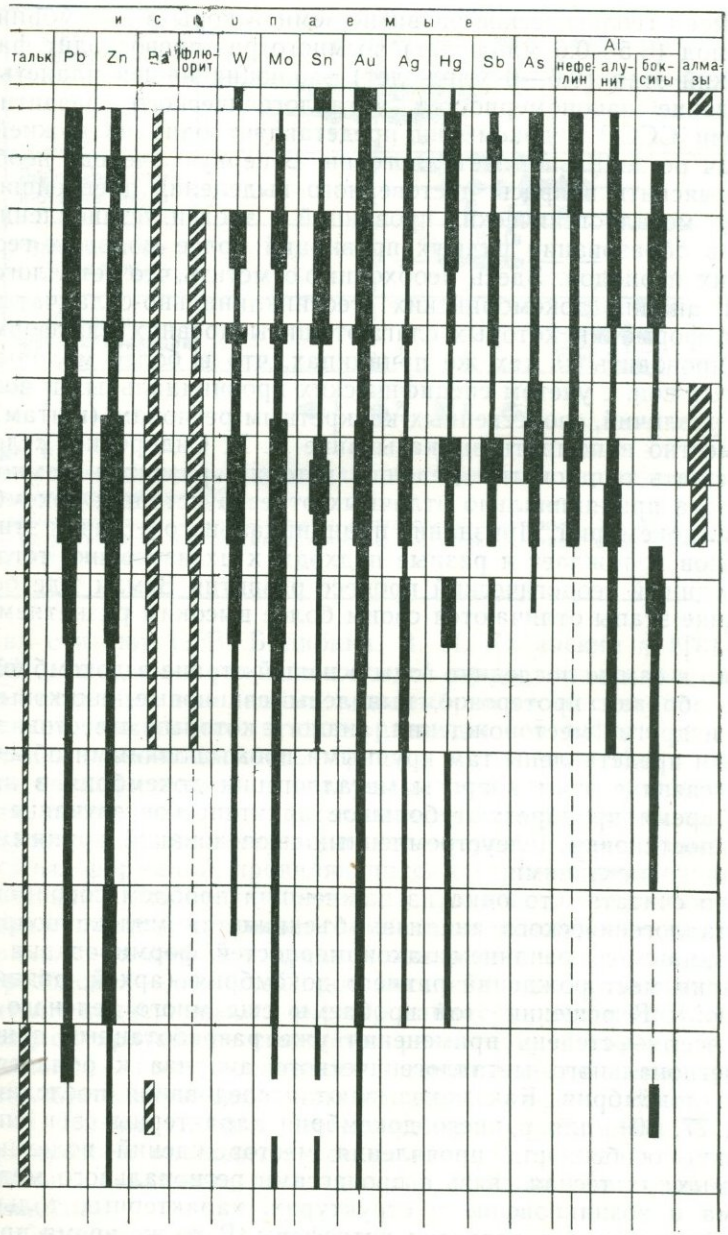


РИС. 5.
Основные эпохи формирования полезных ископаемых на территории СССР. По данным металлогенической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000 [126]. Ширина полосы соответствует частоте (экстенсивности) проявления полезных ископаемых

а по времени геологическое развитие земной коры в докембрийский период (3,5—0,6 млрд. лет) во много раз превосходит фанерозойский этап (0,6—0 млрд. лет) эволюции нашей планеты.

Выявление закономерностей металлогенического развития территории СССР в докембрии представляет одну из важнейших задач региональной металлогении. В первую очередь необходимо выяснить вопросы достоверного выделения древнейших и древних металлогенических провинций и эпох и установления их роли в образовании рудных провинций более молодых геологических периодов. Здесь необходимо отметить, что металлогенический анализ докембрийских геосинклинально-складчатых областей, формации которых слагают щиты древних платформ, следует проводить на тех же принципах, что и более молодых складчатых зон, с учетом специфических провинциальных и возрастных различий, свойственных конкретным регионам (щитам). Здесь уместно напомнить высказывание А. В. Сидоренко: «следует признать ошибочным деление истории развития земной коры на два принципиально отличных отрезка истории: докембрий и постдокембрий. Признание принципиального отличия этих двух этапов порождает и разные подходы к их изучению, тогда как это единый геологический процесс развития Земли, где более поздние этапы отличаются своим более высоким развитием» [336, с. 13].

Только в самые последние годы в нашей стране в докембрии, главным образом протерозое, выявлены свинцовые, цинковые, золотые и другие месторождения, аналоги которых известны за рубежом и представлены там крупными промышленными объектами. В связи с этим вопросы металлогении докембрия в настоящее время приобретают большое практическое звучание и требуют постановки целеустремленных исследований крупными научными коллективами.

Можно считать, что одна из важнейших проблем современного металлогенического анализа объединяет комплекс вопросов, связанных с познанием закономерностей формирования и размещения месторождений раннего докембрия (архей, ранний протерозой). В решении этой проблемы еще много неясного и прежде всего — степень применения уже разработанных принципов регионального металлогенического анализа к областям развития докембрия. Как показывают исследования последних лет [69, 77, 80], для раннего докембрия характерны свои специфические особенности проявления месторождений полезных ископаемых, их тесная связь с процессами регионального метаморфизма и возникновение в структурах, характерных только для начальных этапов развития литосферы. В то же время применение общих принципов металлогенического анализа к докембрийским областям не только возможно, но и обязательно, например, применение структурно-формационного анализа докембрийских толщ, представлений о региональной зональности и т. д.

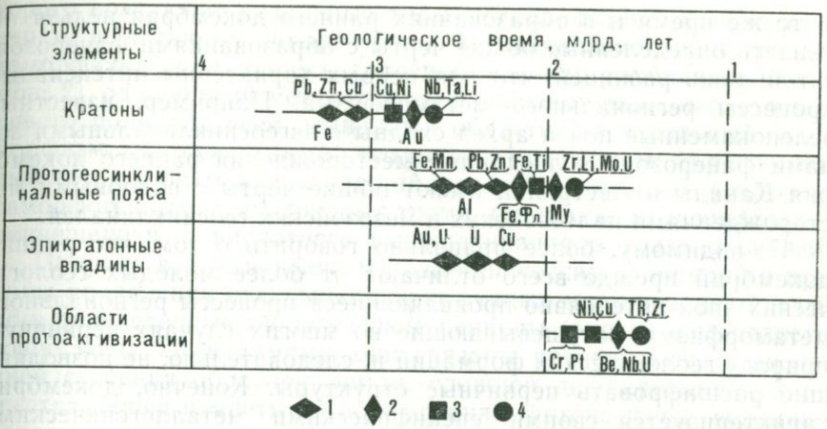


РИС. 6.
Распределение рудных формаций по главнейшим структурным элементам раннего докембрия [52].

Рудные формации: *1* — осадочные и вулканогенно-осадочные, *2* — ортометаморфические, *3* — магматические, *4* — постмагматические. Ведущие полезные ископаемые: Фл — флогопит, Му — мусковит

Как считают Т. В. Билибина, В. Н. Казанский и К. О. Кратц [52], выяснение закономерностей пространственного размещения полезных ископаемых в докембрии тесно связано с расшифровкой начальных этапов развития литосферы и установлением эволюционного ряда структур. Ими показано, что специфическим структурным элементам докембрия: кратонам, протогеосинклинальным поясам, эпикратонным впадинам и областям протоактивизации характерны определенные наборы рудных формаций, проявляющихся в строго определенной тектонической обстановке (рис. 6). Архейская металлогения — это металлогения кратонов, раннепротерозойская — протогеосинклинальных поясов и древних эпикратонных впадин, среднепротерозойская — областей протоактивизации. Указанные исследователи подчеркивают: формирование рудных месторождений в позднем протерозое связано с развитием платформ и геосинклиналей — геотектонических элементов иного типа, претерпевших длительную эволюцию в течение рифея и фанерозоя [52, с. 4]. Иными словами, между ранним докембрием и поздним протерозоем проводится резкая граница, разделяющая принципиально различные геологические условия образования месторождений.

Сходной позиции при анализе металлогении докембрия придерживаются Г. В. Войткевич и Г. И. Лебедько [69]. Действительно, металлогения позднего докембрия ближе к металлогении фанерозоя, когда древние металлогенические провинции имеют общие черты с более молодыми рудоносными областями.

В то же время и в образованиях раннего докембрия нельзя не увидеть определенные общие черты с образованиями фанерозоя, с той лишь разницей, что для первых характерны интенсивные процессы регионального метаморфизма. Например, известные зеленокаменные пояса архея сходны с эвгеосинклинальными зонами фанерозоя. Колчеданные месторождения раннего докембрия Канады и Австралии имеют общие черты с подобными месторождениями палеозойских и мезозойских геосинклиналей.

По-видимому, более правильно говорить о том, что ранний докембрий прежде всего отличают от более молодых геологических эпох интенсивно проявляющиеся процессы регионального метаморфизма, затушевывающие во многих случаях первичную природу геологических формаций и, следовательно, не позволяющие расшифровать первичные структуры. Конечно, докембрий характеризуется своими специфическими металлогеническими особенностями; это прежде всего относится к раннепротерозойской эпохе, известной месторождениями железистых кварцитов, золотоносных и ураноносных конгломератов и медистых песчаников.

По нашему мнению, металлогенический анализ областей развития докембрия должен быть основан на тех же историко-формационных принципах изучения геологических образований, которые используются и при исследовании фанерозойских структур. Изучение вещественно-формационных комплексов в областях развития докембрия ведет к выявлению конкретных геологических структур, к познанию связей с ними месторождений полезных ископаемых и установлению закономерностей размещения последних. Это общий путь металлогенического анализа. Применительно к докембрийским образованиям он усложняется всесторонним изучением процессов метаморфизма, выяснением их роли в процессах рудообразования. Детальное изучение этих процессов в ряде случаев позволяет «рассеивать туман метаморфизма» и сквозь процессы метаморфизма увидеть истинную природу рудных концентраций и закономерности их проявления. Так, например, в последние годы усилиями австралийских геологов реконструированы условия формирования крупнейшего месторождения Брокен-Хилл, которое ныне оценивается как стратиформное полиметаллическое месторождение, сформировавшееся в кислых вулканитах и во многом сходное с фанерозойскими рудными образованиями.

Некоторые методические аспекты изучения металлогении докембрия рассмотрены Ю. М. Соколовым, С. И. Турченко и М. Е. Салье [365], считающими, что исследование закономерностей размещения древних месторождений должно быть основано на трех принципах: а — определении геохронологических рубежей; б — выявлении закономерностей эволюции тектоно-металлогенических циклов; в — генетической систематике месторождений. При этом в каждом цикле, в результате развития ко-

торого возникают различные типы метаморфогенных месторождений, выделяются четыре этапа: 1) проявление процессов метаморфизма повышенных давлений в зонах глубинных разломов; 2) однородный метаморфизм в условиях равномерного теплового поля для всей подвижной области; 3) зональный метаморфизм, тесно связанный с ультраметаморфизмом; 4) регрессивный метаморфизм, происходящий после консолидации ультраметаморфогенных гранитоидов с тремя стадиями метасоматоза — раннещелочной, кислотного выщелачивания и позднещелочной.

Природа возникновения металлогенических провинций и причины проявления отдельных групп рудных месторождений только в определенные геологические периоды (эпохи) еще недостаточно ясны. По-видимому, они связаны прежде всего с эволюцией строения оболочек Земли, сложной дифференциацией вещества нашей планеты на всех уровнях тектоносферы, возникновением, а затем переработкой базальтовой и сиалической оболочек под воздействием процессов, происходящих в мантии. Имеются основания предполагать, что образование металлогенических провинций обусловлено первично неравномерным содержанием рудных элементов в различных частях тектоносферы, которые на разных этапах развития главных структурных элементов земной коры вовлекаются в активные процессы дифференциации с образованием базальтовых и гранитных магм, сопровождаемых выделением рудоносных погонов.

В последние годы при объяснении причин возникновения металлогенических провинций отчетливо наметились две крайние тенденции: одна точка зрения связана с признанием ведущей роли мантийных частей тектоносферы в образовании рудных месторождений, другая — с признанием определяющего значения в образовании рудных провинций осадочных и метаморфических пород, из которых заимствуются металлы на разных стадиях развития регионов, или при проявлении процессов магматизма, или при движении горячих терм [398].

По нашему мнению, возникновение металлогенических провинций в крупных тектонических элементах земной коры — геосинклинально-складчатых зонах, платформах и областях тектонической активизации — обусловлено различными причинами, связанными прежде всего с конкретными особенностями развития данных структур. Выяснение условий возникновения металлогенических провинций с комплексным учетом всего фактического материала об особенностях развития данного конкретного региона также является одной из задач регионального металлогенического анализа.

К вопросу об источниках рудного вещества. С вопросом о причинах возникновения металлогенических провинций тесно связан вопрос об источниках минерального вещества. Некоторые исследователи за рубежом считают, что задача металлогенического анализа и металлогении как науки в первую очередь —

установление источников химических элементов, образующих промышленные скопления, выяснение источников металлов, вопросы их мобилизации, переноса и концентрации при формировании месторождений [492, 507, 531].

В. И. Смирнов [345] ранее справедливо отмечал, что изучение закономерностей размещения рудных месторождений в любой крупной провинции может быть существенно углублено, если предпринять попытку выяснения региональных источников рудообразующих веществ.

На современном этапе развития металлогенических исследований, когда изучение рудных месторождений сопровождается разносторонними детальными работами по выявлению тонких особенностей руд и, в частности, изучением изотопного состава некоторых элементов, когда геохимические исследования позволяют судить о характере миграции отдельных компонентов и степени их участия в рудообразующих процессах и т. д., появляются первые достаточно реальные возможности для формирования представлений об источниках веществ, образующих рудные месторождения.

По мнению В. И. Смирнова [345], в настоящее время целесообразно выделение трех групп источников рудообразующих веществ: а) ювенильных, связанных с глубинными подкоровыми магмами базальтоидного состава; б) ассимиляционных, определяющихся менее глубинными палингенными магмами земной коры преимущественно гранитоидного состава; в) фильтрационных, обусловленных мобилизацией рудообразующих веществ на путях циркуляции агрессивных гидротермальных растворов различного происхождения (магматогенного, метаморфогенного и экзогенного).

Анализируя с металлогенических позиций современные представления об источниках рудообразующих веществ, В. И. Смирнов [345] приходит к выводу, что рудные месторождения разных стадий геосинклинального цикла имеют различные источники рудных веществ. Так, главная масса рудообразующих элементов магматических месторождений ранней стадии геосинклинального цикла имеет своим источником подкоровую магму, на это указывает, в частности, строго определенный набор металлов рудных месторождений, повторяющийся в складчатых областях различного возраста. Источником рудообразующих элементов магматогенных месторождений средней стадии геосинклинального цикла, среди которых преобладают месторождения редких элементов, являются, по мнению В. И. Смирнова, коровые гранитные магмы палингенного происхождения, из остывающих продуктов которых они выносятся или экстрагируются активными постмагматическими растворами.

В рудных месторождениях поздних стадий геосинклинального цикла намечается более сложная картина. Для них предполагаются различные источники рудообразующих веществ, в

которые входят элементы подкоровой основной магмы, коровой кислой магмы и внемагматические элементы вмещающих пород. Последние особенно характерны для так называемых телетермальных месторождений. Для эндогенных рудных месторождений платформ допускаются, как и для геосинклинально-складчатых зон, все три указанных выше источника рудообразующих веществ.

Обзор представлений об источниках рудообразующих веществ эндогенных месторождений был предпринят Я. Н. Белевцевым [21]. В декабре 1974 г. в Москве в Академии наук СССР проходило совещание, посвященное этой сложной и важной проблеме. В настоящее время все отчетливее вырисовываются представления о подкоровых источниках рудообразующих веществ, о том, что глубинно-магматические, возможно, мантийные источники рудогенных элементов характерны для многих рудных месторождений. В то же время многие исследователи отмечают полигенность источников рудообразующих веществ, большое значение процессов мобилизации рудных элементов из различных пород земной коры под воздействием разных геологических процессов, в первую очередь процессов динамотермального метаморфизма. Последняя точка зрения имеет многих приверженцев, однако она далеко не всегда аргументирована надежным фактическим материалом. Анализ различных точек зрения на природу рудообразующих веществ и их источники применительно к отдельным крупным рудным месторождениям, возникающим в различных тектонических обстановках, показывает, что в настоящее время действительно следует говорить о полигенности источников рудообразующих веществ, понимая под этим наличие разных источников минеральных веществ, образующих конкретные месторождения, и различные способы переноса рудных элементов [127].

Для выяснения источников вещества рудных месторождений большой интерес представляет изучение месторождений областей тектоно-магматической активизации. Эти месторождения представляют собой крайне интересные природные объекты, на примере которых могут быть сделаны определенные, имеющие общее значение выводы.

Это связано прежде всего с формированием областей тектоно-магматической активизации на консолидированном жестком субстрате в послеплатформенный этап развития земной коры, весьма часто на кристаллическом основании, сложенном породами докембрия. Известно, что для областей автономной тектоно-магматической активизации характерна резко пониженная мощность земной коры при сокращенном объеме гранитного слоя и неглубоком залегании верхней мантии [458]. В качестве примера можно привести Центрально-Французский срединный массив — типичную область тектоно-магматической активизации. Он имеет крайне незначительную мощность земной коры,

о чем свидетельствуют последние данные по аномальному магнитному полю территории Франции, в рисунке которого срединный массив не отражается магнитными аномалиями.

Другой важной особенностью областей тектонической активизации является очень широкое проявление в их пределах магмо- и рудоконтролирующих разрывных нарушений, которым принадлежит совершенно специфическая роль в развитии данных региональных структур. Эти сведения об областях тектонической активизации приводятся для того, чтобы обратить внимание на характер строения тектоносферы в областях активизации, необыкновенную консолидацию и жесткость земной коры в пределах этих структур, которые практически исключают развитие в гранитном слое энергоемких процессов магмообразования, но способствуют, в свою очередь, проявлению разрывных тектонических нарушений и блоковых перемещений.

В настоящее время положение о том, что области тектоно-магматической активизации являются крупными металлогеническими провинциями, в пределах которых развиты различные типы рудных месторождений, получило широкое признание. Это обстоятельство придает особое значение выявлению источников рудного вещества в данных тектонических структурах. Кроме того, на примере месторождений областей тектонической активизации, характеризующихся консолидированной маломощной корой, более контрастно, чем в других крупных структурных элементах, вырисовывается важная роль глубинных, мантийных частей тектоносферы в процессах рудообразования.

Анализ имеющегося фактического материала, позволяющего в той или иной степени судить об источниках рудообразующих веществ в областях тектонической активизации, показывает следующее: применительно к отдельным крупным месторождениям, возникающим в разных тектонических обстановках, можно говорить о полигенности источников минеральных веществ, образующих месторождения, а также о различных способах их переноса в места концентрации. В то же время, по нашему мнению, источник главных рудных компонентов, определяющих основную промышленную ценность месторождения, всегда один; для большинства месторождений золота, серебра, меди, молибдена, бериллия, вольфрама, свинца, цинка, ртути, сурьмы, а также флюорита и барита достаточно обоснованно предполагается глубинное происхождение элементов и их привнос из подкоровых частей тектоносферы. Во всяком случае, автору не известны материалы, основанные на геологических наблюдениях и подтвержденные точными расчетами, однозначно свидетельствующие об экстракции этих рудных компонентов из пород, вмещающих месторождения, или из геологических образований, располагающихся на пути следования восходящих или нисходящих гидротерм.

В то же время существует убедительный фактический материал, позволяющий сделать выводы о заимствовании второсте-

пенных рудных компонентов и особенно элементов, формирующих жильные минералы из вмещающих пород, а также об участии в образовании месторождений как глубинных, так и вадозных рудоносных растворов.

Остановимся кратко на возможных источниках рудообразующих веществ различных месторождений областей тектонической активизации.

Для редкометальных месторождений (олова, вольфрама, молибдена и бериллия) в ряде регионов устанавливается их выдержанная связь со специализированными малыми трещинными интрузиями, с которыми предполагается генетическая или парагенетическая связь оруденения. К признакам, указывающим на генетическую связь оруденения с интрузиями, нами относятся:

а) выдержанная пространственная и временная связь определенных магматических и рудных образований;

б) строго направленное развитие рудного процесса — от пегматоидов к низкотемпературным гидротермальным образованиям;

в) характерная температурная зональность постмагматических образований вокруг интрузий;

г) наличие рудных минералов в неизмененных рудоносных интрузивах.

Подобными признаками обладают, например, вольфрамовые и молибденовые месторождения в областях тектонической активизации Западного Забайкалья. Установлена важная роль вмещающих пород в образовании некоторых минералов этих месторождений, из которых заимствуются железо для пирита и магнетита, кальций для кальцита и шеелита, калий для гидротермальных полевых шпатов.

Как известно, некоторые исследователи указывают на важную роль мобилизации олова, вольфрама, бериллия и урана из вмещающих пород и их перенос и концентрацию гидротермами в процессах тектонической активизации. Так, Г. В. Ициксон [128] допускает, что в процессе глубинных геодинамических напряжений в метаморфогенном фундаменте областей активизации возникают геохимические аномалии, специализированные на тот или иной элемент, которые являются потенциальным источником рудных элементов.

Для месторождений цветных металлов областей активизации (свинца, цинка и меди) в большинстве случаев доказывается парагенетическая связь с определенными типами интрузивных образований, для которых допускается их возможная связь с подкоровыми магматическими очагами. Своеобразную особенность таких месторождений представляет их абсолютный возраст, практически всегда значительно более древний, чем возраст месторождений, датируемый по геологическим данным. В этом отношении следует особо отметить месторождения Ска-

листых гор в США, где в рудах некоторых заведомо молодых месторождений, залегающих среди третичных пород, свинец обладает устойчивыми параметрами, датирующими его возраст 1650 млн. лет. Подобные явления известны и на свинцовых месторождениях в других регионах. Невольно возникает вопрос: не имеет ли данный свинец, перемещенный гидротермами в более молодые эпохи в верхние этажи тектоносферы, подкоровое происхождение? Или, может быть, встречаемся здесь с процессами регенерации древних рудных образований?

Для месторождений областей автономной активизации характерны флюоритовые месторождения — своеобразные индикаторы этих структур. Для этих месторождений, как и для месторождений ртути и сурьмы, предполагается глубинный, мантийный источник основных компонентов, слагающих рудные тела. Именно на примере ртутных месторождений областей активизации В. А. Кузнецов и А. А. Оболенский [195] детально рассмотрели вопрос об источниках ртути и показали, что главным источником являются подкоровые очаги. Эти исследователи ссылаются на интересные данные Г. Рида, которые свидетельствуют о тождестве изотопного состава метеоритной и «земной» ртути и позволяют предполагать ее мантийное происхождение.

Для месторождений плавикового шпата ранее нами [458] доказывалась парагенетическая связь с основными щелочными породами, производными базальтоидных магм. Отмечалось, что фтор не заимствуется из вмещающих пород, он привносится гидротермами из глубин, хотя в образовании некоторых флюоритовых месторождений принимают участие вадозные воды, которые перемещаются в некоторых случаях в открытые рудные полости из вмещающих пород значительные массы каолинита и монтмориллонита. Эти интересные явления детально рассмотрены А. А. Ивановой [121].

На примере флюоритовых и некоторых стратиформных свинцово-цинковых месторождений отчетливо устанавливается существование нисходящих рудоносных терм, что находит отражение в присутствии в рудных телах натечных со следами оползания агрегатов фарфоровидного флюорита и халцедоновидного кварца, а также сталактитов кварца, флюорита, галенита и пирита. Особенно интересны наблюдавшиеся нами на стратиформном свинцово-цинковом месторождении Малин (Франция) сталактиты галенита и пирита размером до одного сантиметра в поперечнике, имеющие округлую внутреннюю полость.

Как известно, на природу стратиформных свинцово-цинковых месторождений, локализующихся в обрамлении областей тектоно-магматической активизации, нет единой точки зрения. Одни исследователи допускают фильтрационный генезис; по мнению других, рудное вещество месторождений имеет глубинное происхождение. В пользу последней точки зрения говорят

некоторые данные о постоянной связи таких месторождений с крупными зонами разрывных нарушений, локализация оруденения в различных по возрасту стратиграфических горизонтах, а также полученный для некоторых месторождений материал об изотопном составе свинцов, свидетельствующий о глубинном их происхождении и связи с подкоровыми источниками (месторождение Пайн-Пойнт, Канада) [488].

Рассматривая сложные и неоднозначно решаемые вопросы об источниках рудообразующих веществ в областях активизации, следует иметь в виду, что для выявления истинных источников рудного вещества при образовании месторождений большое значение имеет изучение крупных долгоживущих разрывных нарушений, к которым приурочено большинство рудных месторождений областей активизации. По геофизическим данным некоторые из таких разломов глубоко проникают в мантию, и можно предположить, что они играют особую роль — генераторов оруденения, способствуя плавлению мантийных частей тектоносферы и возникновению магматических очагов и гидротермальных погонов, а также одновременно служат путями продвижения рудоносных магм и гидротерм в приповерхностные зоны земной коры.

Одной из интересных особенностей минерального состава эндогенных месторождений областей автономной активизации, позволяющих высказать соображения о возможных источниках рудного вещества, является присутствие в рудах месторождений твердых и жидких битумов. Особенно часто битумы встречаются в урановых, флюоритовых и реже флюорит-полиметаллических месторождениях. Твердые битумы достаточно широко распространены в урановых месторождениях некоторых срединных массивов. Такие месторождения известны в Чешском и Пононском срединных массивах, а также в районе плато Колорадо. Доказываются эндогенное происхождение битумов этих месторождений и их тесная генетическая связь с рудными минералами.

Особенно широко жидкие и твердые битумы распространены во флюоритовых месторождениях, прежде всего в месторождениях штатов Иллинойс и Кентукки в США, а также во флюоритовых месторождениях Средней Азии, Пакистана, Англии и Италии.

В месторождении Кох-и-Маран в Пакистане нами были обнаружены во флюоритах многочисленные мелкие и крупные включения жидких битумов, причем отдельные включения достигали размера 0,5 см. Изучение таких включений [33] показало, что они, как правило, многофазовые, состоят из жидкой светло-желтой нефти, водного раствора, твердого битума и газа.

Как показало изучение газово-жидких включений во флюоритах шт. Иллинойс, воды ранних этапов гидротермального процесса сходны с нефтяными, и именно из этих вод происхо-

дило отложение флюорита. Присутствие битумов отмечается в известных флюоритовых месторождениях Дербишира (Англия), где установлены выделения олефинита, обросшие сульфидами; при этом доказывается постмагматическое происхождение битумов [32].

В крупном флюоритовом месторождении Кейв-ин-Рок (шт. Иллинойс, США) отмечается присутствие нефтяных битумов во флюоритах всех стадий минерализации. Это указывает на активное участие битумов в гидротермальном процессе, формирующем данное месторождение.

В рудах флюорит-полиметаллических месторождений Таборного и Хибеленского (Прибайкалье) В. С. Кормилицыным [176] установлены крупные выделения твердых битумов (антраксолита) до 5—8 см в поперечнике. Такие выделения битумов переполнены включениями флюорита шарообразной или каплевидной формы. Известно, что битумы широко распространены во флюоритовых месторождениях Таджикистана.

Большое значение органических соединений в переносе рудных элементов в гидротермальных растворах на примере флюоритовых месторождений было показано Р. Кранцем [510]. Жидкие и твердые битумы встречаются также в ртутных месторождениях, формирование которых связано с процессами активизации. Например, гидротермальные битумы установлены в ртутных месторождениях Донбасса, при этом в битумах фиксируются тонкораспыленные киноварь и кальцит [199].

В последнее время в некоторых газовых месторождениях установлено присутствие в значительных количествах рудных элементов. Так, в газовом месторождении Пакензен (ГДР) установлены промышленные концентрации ртути. Недавно Н. А. Озерова, Ю. И. Пиковский и другие [274] подчеркнули парагенетическую связь между месторождениями нефти и газа и ртутными месторождениями. Они отметили, что для нефтяных и газовых месторождений с повышенными содержаниями ртути характерна приуроченность к узлам пересечения крупных тектонических структур различного простирания, в пределах которых проявляются новейшие тектонические движения.

Все эти данные позволяют высказать соображения о единстве источников рудных элементов и гидротермальных битумов в месторождениях областей тектоно-магматической активизации, для которых допускается их связь с развитием мантийных участков тектоносферы.

Всестороннее исследование углеводородов в рудных месторождениях областей тектонической активизации, выявление поведения и взаимосвязей твердых и жидких битумов с рудными элементами в едином гидротермальном процессе открывает новые страницы познания генезиса эндогенных месторождений и намечает определенные, но еще недостаточно четкие связи между образованием нефтяных и рудных месторождений.

Для месторождений областей отраженной тектоно-магматической активизации, формирование которых связано с эволюцией смежных геосинклинально-складчатых зон, источником рудного вещества служат специализированные на тот или иной главный рудный элемент магматические интрузии. Влияние пород, вмещающих материнские интрузии и оруденение, на минеральный состав месторождений здесь незначительно, оно выражается в заимствовании отдельных элементов, не определяющих геохимический облик месторождений.

Источником рудных элементов в месторождениях областей отраженной тектоно-магматической активизации всегда служит специализированный магматический расплав (интрузия), что подтверждается сходством рудоносных интрузий и связанных с ними месторождений геосинклинальных зон и сопряженных с ними зон активизации.

Всесторонний анализ возможных источников вещества для рудных месторождений областей тектоно-магматической активизации, особенно для областей автономной активизации, показывает, что в большинстве случаев мы вправе говорить о глубинных источниках рудного вещества, связанных, очевидно, с подкоровыми зонами и магматическими очагами. По-видимому, в настоящее время значение роли подкоровых, мантийных источников рудного вещества и возможность подъема рудоносных погонов без их связи с магматизмом несколько недооценивается. По всей вероятности, главным источником рудных элементов в большинстве месторождений областей тектоно-магматической активизации являются подкоровые глубины нашей планеты. Из вмещающих пород заимствуются главным образом петрогенные элементы и более редко некоторые рудные (Sn, U, возможно, Pb и Zn), причем в последнем случае иногда допускается возможность первоначального привноса этих элементов гидротермальными растворами во вмещающие породы с образованием в них рассеянных непромышленных концентраций.

Пути решения сложной проблемы источников минерального вещества рудных месторождений еще только намечаются, но уже на первых этапах изучения данной проблемы совершенно очевидно, что только комплексный подход, основанный на сочетании геолого-металлогенического анализа особенностей проявления конкретных месторождений с современными тонкими геохимическими и минералогическими исследованиями, позволит в наиболее короткий срок приблизиться к таким представлениям о природе рудообразующих веществ, которые специалисты разных направлений признают наиболее близкими к, возможно, существующим в природе.

Несомненно, в настоящее время следует говорить о существовании нескольких источников минерального вещества рудных месторождений, решая в каждом конкретном случае для

месторождений определенных структур и типов, какой источник для них главный. Об этом свидетельствуют и материалы совещания по источникам рудного вещества эндогенных месторождений [127].

ГЛАВА 4

РЕГИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Исследователи рудных месторождений издавна отмечали определенные региональные закономерности в пространственном размещении месторождений различных металлов, выраженные в строгом линейном расположении месторождений в виде крупных полос, зон или поясов разных масштабов. В пределах таких, обычно линейно вытянутых рудоносных площадей локализуются месторождения одного или нескольких металлов; при этом часто рудоносные площади одного типа сменяются рудоносными площадями другого типа, где развиты месторождения уже иного состава и со своими характерными особенностями.

В настоящее время это общее положение настолько известно и общепринято, что, казалось бы, не нуждается в аргументации. Действительно, современные представления о региональной металлогенической зональности основаны на большом эмпирическом фактическом материале, полученном в Советском Союзе прежде всего в результате составления металлогенических карт крупных рудных провинций страны.

Явления региональной металлогенической зональности различны по масштабам. Выделяются две группы зональности [311, 339, 341]:

1) зональность крупных рудных провинций, имеющих планетарное значение,

2) зональность рудных поясов или региональных рудоносных структур, которые отчетливо выделяются в пределах крупных рудных провинций и отличаются линейным (поясовым) размещением отдельных групп рудных месторождений, закономерно проявляющихся в определенных типах тектоно-магматических (структурно-металлогенических) зон.

Исследователь, занимающийся металлогеническим анализом конкретных регионов, в первую очередь имеет дело с региональной металлогенической зональностью второго рода или рудными поясами, обычно образующими в совокупности полиметальные рудные провинции, в ряде случаев планетарного масштаба. К последним, например, относятся внутренние и внешние зоны Тихоокеанского рудного пояса (по С. С. Смирнову) или планетарный ртутный пояс, установленный В. А. Кузнецовым [192] и протягивающийся в широтном направлении на тысячи километров от Испании до Охотского моря.

Примеры рудных поясов также хорошо известны. К ним относятся, например, полиметаллический и редкометальный рудные пояса Рудного Алтая; флюоритовый пояс Западного Забайкалья; Колымский пояс золоторудных месторождений; Ферганский ртутно-сурьмяной пояс и т. д. Сходные крупные рудоносные структуры известны и за пределами нашей страны — это оловянный пояс Нигерии, ртутно-сурьмяной пояс Южного Китая, меднопорфировый пояс Чили, поперечные рудные пояса плато Колорадо и др.

Примеры крупных линейных рудоносных структур многочисленны; они известны практически в каждом рудном регионе. Их общая характеристика содержится в многочисленных работах, посвященных вопросам региональной металлогении, а также дана практически во всех последних учебниках по полезным ископаемым.

Все сказанное отражает признание объективно существующего в земной коре явления — региональной металлогенической зональности. Широкое распространение этого явления, развитие его в различных регионах, существование рудных поясов с разными по возрасту и составу месторождениями позволяют говорить о региональной металлогенической зональности как о глобальном явлении, характерном для всех континентальных структур земной коры. *Региональная металлогеническая зональность — одна из наиболее ярко выраженных закономерностей пространственного размещения рудных месторождений.* Наиболее отчетливо эта закономерность проявляется на примере рудных поясов — крупных линейных рудоносных структур, в пределах которых в основном сосредоточены рудные месторождения.

По масштабам и значению эта закономерность сопоставима с геологическим законом, который может быть сформулирован следующим образом: *линейное, поясовое размещение рудных месторождений, находящее отражение в региональной металлогенической зональности, является законом пространственного размещения рудных месторождений в земной коре.*

Вопросы зональности рудных провинций или глобальных рудных поясов, иногда охватывающих разные континенты, изучены еще недостаточно. Впервые на глобальные закономерности в размещении рудных месторождений в земной коре обратил внимание С. С. Смирнов [361, 362], показав на примере Тихоокеанского рудного пояса строгую принадлежность определенных рудных месторождений к определенным частям (внутренним и внешним) этой планетарной структуры. В дальнейшем идеи С. С. Смирнова получили широкое развитие, особенно в трудах Е. А. Радкевич и М. И. Иициксона, которые глобальную зональность Тихоокеанского пояса объяснили первичной неоднородностью земной коры и мантии. Интересны исследования М. И. Иициксона [129, 130], доказывающего, что про-

явление крупных планетарных рудоносных структур неразрывно связано с различными типами строения тектоносферы и зависит от характера развития ее подкоровых частей. Ранее на это указывал Б. А. Андреев [10], который, интерпретируя геофизические данные по строению внешней и внутренней зон Тихоокеанского пояса, отмечал различную мощность земной коры в их пределах.

В сущности в настоящее время представления о зональности глобальных рудных поясов получили развитие только на примере Тихоокеанского рудного кольца, где по отношению к акватории Тихого океана наиболее отчетливо выделяются различные рудные провинции, несущие промышленные концентрации разных металлов. Известно, что для внутренних частей Тихоокеанского рудного кольца наиболее характерны месторождения меди, а для внешних зон — олова.

По данным автора [461], вольфрам характерен как для внутренней, так и для внешней зон этой глобальной рудоносной структуры; однако в месторождениях внешней зоны он встречается преимущественно в виде вольфрамита в основном в месторождениях кварцевого типа, часто с касситеритом, тогда как во внутренней зоне представлен шеелитом обычно в комплексных полиметальных месторождениях. Следует признать, что зональность глобальных рудных поясов изучена еще слабо; эта проблема носит в значительной мере познавательно-теоретический характер и не влияет еще в необходимой степени на решение практических вопросов.

Совершенно иное значение имеет проблема рудных поясов, рассматривающая вопросы региональной металлогенической зональности в пределах рудных провинций и крупных рудных регионов. Здесь вопросы региональной зональности помимо теоретического значения связаны с решением прикладных задач, направлением поисковых работ, определением и выявлением новых перспективных рудоносных площадей. Поэтому вопросам региональной металлогенической зональности в масштабе рудных поясов автор уделяет основное внимание. Ниже будут рассмотрены общие вопросы классификации этих рудоносных структур, что связано с необходимостью обязательного выделения подобных структур при металлогеническом анализе крупных регионов.

Проблема региональных рудоносных структур типа рудных поясов привлекала внимание многих исследователей разных периодов как в СССР, так и за рубежом [44, 263, 266, 267, 289, 356, 360, 399, 406 и др.]. В последние годы этот вопрос освещен в работах В. И. Смирнова [339, 340, 341], Д. И. Горжевского [91], Д. И. Горжевского и В. Н. Козеренко [95], А. И. Семенова [330, 332], В. С. Кормилицына [176], А. С. Великого [64], А. Д. Щеглова [457], Г. А. Твалчрелидзе [387] и др.

Пожалуй, В. И. Смирнов [339] первый предложил классификацию рудных поясов, подразделив их на три типа: 1) вытянутые вдоль крупных разрывов; 2) расположенные вдоль ослабленных зон, находящихся на стыке геологических областей различной мобильности; 3) вытянутые вдоль предполагаемых крупных разрывов в консолидированном фундаменте области. Позднее он показал [340, 341], что рудные пояса в геосинклиналях строго приурочены к определенным тектоническим секторам.

А. С. Великий [64], взяв за основу классификацию В. И. Смирнова [340], разделил рудные пояса на две группы: 1) пояса, согласные складчатым структурам, и 2) пояса, секущие складчатые структуры. В первой группе он выделил два типа: а) рудные пояса, вытянутые вдоль стыка геологических зон различной мобильности, и б) рудные пояса, вытянутые вдоль крупных разрывов, протягивающихся параллельно осям складчатых структур. Ко второй группе отнесены рудные пояса, вытянутые вдоль предполагаемых глубинных разломов в фундаменте складчатой области.

Для понимания условий формирования различных рудных поясов большой интерес представляют последние работы А. И. Семенова [330, 332], в которых охарактеризованы главнейшие типы структурно-металлогенических зон. Не применяя термина «рудный пояс» и заменяя его понятием о структурно-металлогенической зоне, А. И. Семенов дал описание наиболее типичных из них, показав тектонические условия формирования этих региональных рудных структур на разных стадиях развития геосинклинальных поясов.

Возникновение рудных поясов в геосинклинальных областях определяется всей историей геологического развития определенных тектонических элементов этих структур [45, 91, 330, 340, 434, 436, 387, 391, 458, 463 и др.]. Именно вся совокупность особенностей геологического развития той или иной линейно вытянутой территории (тектонический режим, осадконакопление, магматизм, процессы метаморфизма) обусловливает появление в ее пределах эндогенных месторождений, образующих рудный пояс и определяющих его металлогенический облик. Поэтому нельзя не согласиться с Д. И. Горжевским и В. Н. Козеренко [95], считающими неправильной дискуссию на тему: что является для образования рудных поясов главным — разрывные или складчатые структуры?

Имеющиеся немногочисленные классификации рудных поясов на основе их отношения к складчатым и разрывным структурам, а также комплексам интрузивных пород не вскрывают в полной мере причин образования рудных поясов в связи с развитием геосинклинальных областей и других крупных элементов земной коры и имеют обычно эмпирический характер. Наиболее детально причины образования рудных поясов рассмотре-

ны Г. А. Твалчрелидзе [387], по мнению которого многообразие проявлений региональной зональности в размещении рудных месторождений в разных провинциях обусловлено характерными особенностями всей истории геологического развития исходных составных частей геосинклиналей. Вместе с тем Г. А. Твалчрелидзе отмечает, что рудные пояса не совпадают точно с соответствующими тектоническими зонами и обычно занимают только их части, характеризующиеся факторами, благоприятными для оруденения. Наиболее контрастно рудные пояса, по мнению этого исследователя, выражены при сопряжении вулканогенных и терригенных геосинклиналей. Г. А. Твалчрелидзе выделил семь обобщенных типов геологических структур, сопредельное положение которых в пространстве обусловливает проявление металлогенической зональности типа рудных поясов. Предложенная им классификация рудоносных структур во многом сходна с систематикой структурно-металлогенических зон А. И. Семенова [330].

Для понимания сложных и многогранных причин возникновения рудных поясов значительный интерес представляет исследование Г. Н. Щербы «Геотектоногены и рудные пояса» [463]. В этой оригинальной работе, рассматривающей вопросы развития земной коры на примере Казахстана, отчетливо показано, что возникновение рудных поясов неразрывно связано с процессами развития глубинных подвижных зон линейного типа, так называемыми тектоногенами, представляющими собой специфические протяженные области земной коры, в пределах которых шла дифференциация и миграция вещества из верхней мантии в земную кору. Последнее обстоятельство обусловливает специфические особенности проявления тектонических процессов, процессов осадконакопления, магматизма, метаморфизма и рудообразования, происходящих в пределах отдельных геотектоногенов, которые всегда характеризуются особым для каждого случая металлогеническим обликом. Геотектоногены представляют собой крупные линейные рудоносные структуры или рудные пояса, возникновение которых, по мнению Г. Н. Щербы [463], обусловлено всем ходом геологического развития конкретной призмы тектоносферы.

Вопросы выделения замкнутых и фрагментарных рудных поясов в связи с проблемой региональной рудной зональности рассмотрены Г. И. Князевым [153], который считает эти рудоносные структуры особенно характерными для рудных провинций, испытавших в постгеосинклинальный этап развития интенсивные складчато-глыбовые дислокации. Приуроченность оруднения к замкнутым и фрагментарным рудным поясам он считает одной из главных закономерностей пространственного размещения полезных ископаемых как в молодых складчатых зонах, так и на щитах, она связана с локализацией рудных месторождений вокруг «...срединных консолидированных массивов

и блоков» в рудоносных структурах, положение которых контролируется крупными зонами разрывных нарушений. Вокруг таких жестких блоков возникают рудные пояса разных типов, обусловливая региональную металлогеническую зональность, выражающуюся в смене одних рудных поясов другими по мере их удаления от центральных частей жестких блоков. По мнению Г. И. Князева, причины такой зональности обусловлены миграцией тектоно-магматических процессов, с которыми связано оруденение, в завершающие этапы развития складчатых областей во внешние их зоны — в сторону передовых прогибов.

В настоящее время уже достаточно очевидно, что классификацию рудных поясов наиболее правильно проводить на геотектонической основе с учетом конкретных особенностей, определяющих формирование рудных поясов на различных стадиях развития крупных тектонических элементов земной коры [94, 95, 330, 340, 343, 387]. Исходя из этого основного положения, нами предлагается следующая общая схема классификации рудных поясов для складчатых областей. Рудные пояса по отношению к конкретной складчатой (геосинклинальной) области могут быть разделены на две группы:

1) геосинклинальные рудные пояса, связанные с развитием данной геосинклинали и располагающиеся в ее пределах;

2) наложенные рудные пояса; в эту группу входят рудные пояса, которые образуются на площади более древних складчатых областей и возникают или в результате развития на смежной территории более молодых геосинклинальных прогибов, или в связи с проявлением автономных процессов активизации древних консолидированных структур.

Геосинклинальные рудные пояса. Эта группа объединяет рудные пояса, которые характерны для разных тектонических элементов геосинклиналей и стадий их развития.

В. И. Смирнов [342] отмечал, что региональная металлогеническая зональность, выражающаяся в отчетливой смене в поперечном сечении геосинклинальных областей различных по составу и генетическому типу эндогенных месторождений, вытянутых в виде рудных поясов согласно генеральному плану тектонических структур, обусловлена в первую очередь линейным размещением строго определенных формаций магматических пород и связанных с ними месторождений, приуроченных к строго определенным тектоническим зонам. Принципиальная схема формирования металлогенической зональности в процессе превращения геосинклинали в складчатую область по В. И. Смирнову отражена на рис. 7. Каждый рудный пояс возникает в пределах особой тектонической зоны, для которой характерны специфические комплексы осадочных, магматических пород, а также разрез тектоносферы. В связи с тем, что в настоящее время устанавливаются несколько металлогенических типов геосинклиналей, наиболее правильно проводить классифи-

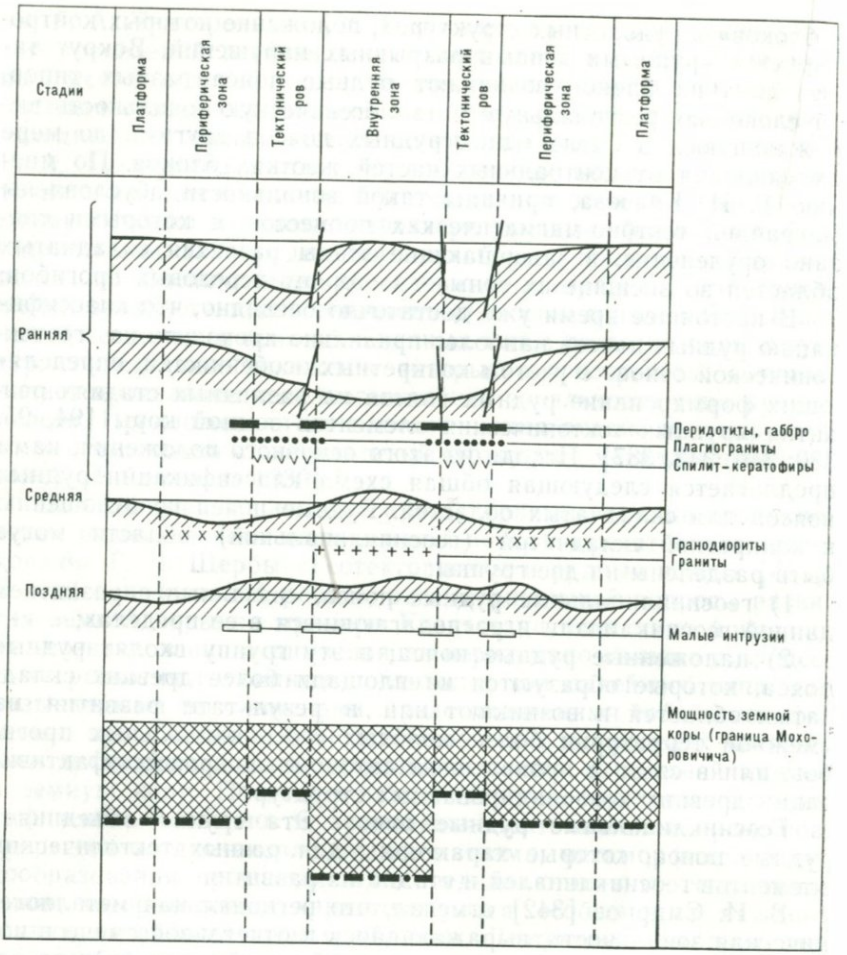


РИС. 7.
Принципиальная схема формирования металлогенической зональности в процессе превращения геосинклинали в складчатую область. По В. И Смирнову [342]

кацию рудных поясов именно по таким типам. Первые шаги в этом направлени сделаны В. И. Смирновым [340] и А. И. Семеновым [332], которые в выделенных ими типах геосинклиналей (металлогенических провинциях) устанавливают ряд характерных рудных поясов (структурно-металлогенических зон). Примечательно, что в разных типах геосинклиналей рудные пояса возникают только в определенные стадии их развития. Так, для геосинклиналей уральского типа (тип А, по В. И. Смирнову) наиболее характерны рудные пояса, образующиеся в ран-

ние стадии их развития, тогда как в геосинклиналях дальневосточного типа (тип С, по В. И. Смирнову) формирование рудных поясов связано со средними и поздними стадиями.

В геосинклиналях уральского типа А. И. Семенов [330, 332] и В. И. Смирнов [340, 341] выделяют несколько рудных поясов, среди которых наиболее отчетливо проявляются следующие три:

а) рудные пояса с магматическими месторождениями платины, хрома, титана в связи с основными и ультраосновными породами, вытянутые вдоль глубоко проникающих разломов, ограничивающих тектонические рвы геосинклинального ложа или располагающихся на сочленении начальных геосинклинальных прогибов со структурами платформенного типа;

б) рудные пояса с колчеданными месторождениями вулканогенных формаций, приуроченные к внутренним частям геосинклинальных прогибов (геосинклинальным рвам);

в) рудные пояса с железорудными месторождениями во вторичных геосинклинальных прогибах.

Для геосинклиналей дальневосточного типа названные рудные пояса не характерны. В связи с развитием геосинклиналей этого типа рудные пояса формируются в две стадии: главных фаз складчатости и консолидации складчатых структур. В первую возникают оловянно-вольфрамовые рудные пояса, в одних геосинклиналях приуроченные к их внутренним частям и образующиеся там в связи с проявлением интрузий кислых гранитов (Забайкалье), а в других — к системам крупных разломов по периферии срединных жестких массивов (Колыма). Д. И. Горжевский и В. Н. Козеренко [94] полагают, что в первую стадию сформировался полиметаллический пояс Восточного Забайкалья, приуроченный к краевой части мезозойской геосинклинали.

Для стадии консолидации складчатых структур в геосинклиналях дальневосточного типа характерны пояса с оловянно-полиметаллическим оруденением и эпитермальной минерализацией. Первые, например на Северо-Востоке СССР, приурочены к крупным разломам, поперечным по отношению к границам жестких массивов [332], вторые — к периферическим частям некоторых геосинклиналей (например, Приаргунский флюоритовый пояс Восточного Забайкалья).

Здесь не рассматриваются все возможные типы рудных поясов, это не входит в нашу задачу. Важно подчеркнуть, что рудные пояса, образующиеся в процессе развития разнотипных геосинклиналей, возникают в разные стадии их развития и в рамках каждой стадии могут формироваться в неодинаковых геологических условиях в пределах разных тектонических секторов (элементов) геосинклиналей.

Взаимосвязь рудных поясов с развитием определенных структурных элементов геосинклиналей в настоящее время

столь очевидна, что истинное недоумение вызывает следующее высказывание Ч. Парка: «В последине годы большое внимание уделялось вопросу о возможной генетической связи между геосинклиналями и металлогеническими провинциями. Эта идея ещё сравнительно новая; еще не ясно, какая связь существует между региональной зональностью и геосинклиналями и существует ли она вообще» [289, с. 229].

Наложенные рудные пояса. В эту группу региональных рудоносных структур входят рудные пояса, располагающиеся на площади складчатых областей, с развитием которых они не связаны. Выделяются два типа поясов:

а) рудные пояса, формирование которых обусловлено новым геосинклинальным прогибом, развивающимся на смежной территории;

б) рудные пояса, возникающие в результате процессов автономной тектоно-магматической активизации более древних складчатых сооружений.

В первом случае рудные пояса тесно примыкают к более молодой складчатой области, локализуясь в пределах ее геосинклинальной рамы. В. И. Смирнов [340] показал, что ширина наложенных на геосинклинальную раму рудных поясов зависит от размеров геосинклиналей и достигает 35—65 км. «Относительная глубина проникновения эндогенного оруденения в геосинклинальное обрамление нарастает от широких геосинклинальных зон, где она составляет около 20% от поперечного сечения складчатых областей, к узким геосинклиналям, где она достигает 50% длины геосинклинальной хорды» [340, с. 75]. Примером рудных поясов такого типа может служить Горно-Алтайский пояс редкометальных месторождений в Иртыш-Зайсанской провинции.

Во втором случае образование рудных поясов связано с процессами активизации более древних складчатых сооружений. Этот тип рудоносных структур еще изучен недостаточно и выявлен только в последнее время. К ним относится Северный пояс флюоритовых месторождений Забайкалья, расположенный на территории байкальской и каледонской складчатых областей. Д. Шаве и Д. Стеварт [540] считают, что главными факторами, обусловившими поясовое (зональное) размещение рудных месторождений Западных штатов США, являются ослабленные зоны в докембрийском фундаменте, активизированные в мезозойское и третичное время.

При формировании рудных поясов в процессе развития геосинклиналей меняется значение основных рудоконтролирующих факторов. Так, в период главных фаз складчатости большое значение для локализации рудных месторождений и рудоносных интрузий имеют в ряде рудных поясов складчатые формы (Алтай, Забайкалье), тогда как в период консолидации складчатых сооружений ведущее рудоконтролирующее значение

приобретают глубинные разломы, обычно располагающиеся на границе различных структур.

Изложенные выше замечания использованы при составлении схемы классификации рудных поясов. Помимо общей классификации по типам в ней приводятся некоторые примеры рудных поясов. Приведенную схему классификации нельзя считать окончательной; в ней только систематизированы те общие представления, на основе которых, по нашему мнению, можно приступить к разработке рациональной генетической классификации рудных поясов.

ОБЩАЯ СХЕМА КЛАССИФИКАЦИИ РУДНЫХ ПОЯСОВ (в складчатых областях)

I. Геосинклинальные рудные пояса.

1. Рудные пояса стадии общего геосинклинального прогибания.

а. Рудные пояса во внутренних зонах:

1) рудные пояса с магматическими месторождениями платины, хрома, титана в связи с основными и ультраосновными породами (Урал);

2) рудные пояса с колчеданными месторождениями вулканогенных формаций (Урал, Кавказ).

б. Рудные пояса в периферических зонах:

1) рудные пояса с железорудными месторождениями (Урал);

2) рудные пояса с магматическими месторождениями платины, хрома, титана на сочленении начальных геосинклинальных прогибов со структурами платформенного типа (Казахстан).

2. Рудные пояса стадии восходящих движений и главных фаз складчатости.

а. Рудные пояса во внутренних зонах:

1) рудные пояса с редкометальной (оловянно-вольфрамовой) минерализацией, приуроченные к центральным частям геосинклиналей в связи с кислыми гранитами и терригенными формациями (оловянно-вольфрамовый пояс Забайкалья; Калба-Нарымский пояс Алтая).

б. Рудные пояса в периферических зонах:

1) рудные пояса со скарновыми месторождениями молибдена и вольфрама в связи с гранодиоритами и карбонатными формациями (Южно-Тянь-Шаньский скарновый рудный пояс);

2) рудные пояса с полиметаллической минерализацией (Приаргунский пояс Восточного Забайкалья);

3) золоторудный пояс Колымы.

3. Рудные пояса стадии консолидации складчатых сооружений.

а. Рудные пояса на сочленении структурно-формационных зон или зон различной мобильности;

1) Оленгуе-Уровский золото-молибденовый пояс Восточного Забайкалья;

2) Восточно-Сихотэ-Алинский оловоносный пояс.

б. Рудные пояса, приуроченные к зонам разломов или поздним впадинам:

1) Балейский пояс эпитермальной минерализации (Ag, F, Sb, Hg) Восточного Забайкалья;

2) ртутно-сурьмяный пояс Средней Азии.

II. **Наложенные рудные пояса.**

1. Рудные пояса геосинклинальных рам:

1) редкометальный пояс Горного Алтая (?).

2. Рудные пояса областей автономной активизации:

1) молибдено-вольфрамовый пояс Западного Забайкалья;

2) северный флюоритовый пояс Забайкалья;

3) флюоритовый пояс Монголии.

Крупные рудные пояса известны также на платформах и в областях автономной тектоно-магматической активизации, возникающих на последних.

В пределах платформ возможно выделение региональных рудоносных структур трех принципиально различных типов: а) рудные пояса фундамента платформы; б) рудные пояса, связанные с образованием платформенного чехла, и в) рудные пояса, обязанные своим возникновением наложенным на платформенные структуры процессам автономной тектоно-магматической активизации. Все три типа рудоносных структур выделяются на Африканской платформе и менее отчетливо на других.

Рудные пояса, связанные с процессами отраженной тектоно-магматической активизации, на платформах достоверно не установлены.

Таким образом, региональная металлогеническая зональность, особенно типа рудных поясов, широко развита в пределах континентального блока земной коры; она характерна для всех главнейших его структурных элементов. Как отмечалось, региональная металлогеническая зональность является законом пространственного размещения рудных месторождений в земной коре, поэтому выявлению зональности в разных тектонических структурах следует уделять при металлогеническом анализе особое внимание. В настоящем разделе не охарактеризованы отдельные типы рудных поясов; не в этом состояла задача. Важно было привлечь внимание исследователей к необходимости выделения таких структур в каждом крупном рудном регионе, а если металлогеническому анализу подвергается менее значительная территория, то важно определить, к какому типу крупных рудоносных структур она принадлежит и какие типы месторождений могут быть проявлены в пределах конкретных рудных поясов, частью которых является данная территория или рудный район.

Не рассматривался также вопрос сочетания разнотипных рудных поясов; этому вопросу посвящена значительная литература по конкретным рудным провинциям. Следует иметь в виду, что рудные пояса могут быть одиночными (более характерно для платформ и областей тектоно-магматической активизации) или могут проявляться наиболее отчетливо попарно (в складчатых областях).

В заключение отметим, что, по мнению Л. Н. Овчинникова и В. Д. Баранова [271], в настоящее время можно говорить о существовании в некоторых рудных провинциях региональной вертикальной зональности, которая устанавливается в распределении металлов по отношению к поверхности Конрада. Изучая колчеданно-полиметаллические месторождения Алтая, эти исследователи пришли к выводу что разное соотношение запасов меди и свинца в Алейско-Иртышской и Змеиногорско-Зыряновской рудных зонах связано с различным положением поверхности базальтового слоя: в зоне с более глубоким залеганием базальтового слоя преобладает свинец, в другом случае — медь. Наиболее отчетливо региональная вертикальная зональность устанавливается в распределении отдельных металлов в Алейско-Иртышской рудной зоне. При волнистой поверхности базальтового слоя (поверхности Конрада), уровень которой в этой зоне колеблется от 12 до 18 км, максимальная доля запасов меди устанавливается в блоках, где расстояние до поверхности базальтового слоя минимальное, и, наоборот, доля запасов свинца больше там, где месторождения располагаются в максимальном удалении от этой поверхности.

Изучая вопросы региональной металлогенической зональности, выделяя региональные рудные пояса, исследователь должен «держать голову свободной» и не поддаваться гипнозу старых представлений и схем. В настоящее время, когда металлогения вступила в пору переоценки и переосмысливания большого фактического материала, собранного в предыдущие десятилетия, это особенно важно.

ГЛАВА 5

РОЛЬ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Одной из характерных особенностей современной геологической науки является широкое привлечение формационного метода исследования (формационного анализа) для познания общих закономерностей развития геологических процессов. В настоя-

щее время формационный анализ приобретает все большее и большее значение для выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре, и его применение при решении задач региональной металлогении должно служить основой научного подхода к определению наиболее эффективных направлений поисковых работ.

Проблема геологических формаций имеет много аспектов. Для целей региональных металлогенических работ формационный анализ следует рассматривать прежде всего как особый метод исследования естественных, генетически или парагенетически родственных ассоциаций геологических образований (осадочных, магматических, рудных), возникающих в строго определенных тектонических условиях (тектонических структурах). Подход с позиций формационного анализа к установлению закономерностей размещения рудных концентраций в пространстве и во времени позволяет более объективно и всесторонне устанавливать причинные связи оруденения с конкретными рудоносными геологическими образованиями (формациями) и более достоверно определять факторы, контролирующие размещение промышленного оруденения в разнотипных геологических структурах.

В создании и развитии формационного анализа ведущая роль принадлежит советским геологам, заложившим основы этого нового, крайне перспективного научного направления, которое, по мнению В. Е. Хаина [415], является общим и пограничным для ряда геологических дисциплин, так как позволяет видеть диалектические связи между различными, подчас очень сложными процессами развития земной коры.

Основы современного формационного анализа заложены трудами Н. С. Шатского, Н. М. Страхова, Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, Ю. А. Кузнецова, В. А. Кузнецова, Н. Б. Вассоевича, А. В. Пейве, В. И. Попова, Л. Б. Рухина, В. Е. Хаина, Н. П. Хераскова, А. Л. Яншина и многих других. Вопросы развития учения о геологических формациях, которое особенно бурными темпами развивается в последние годы, освещены в ряде публикаций [76, 102, 165, 190, 206, 423 и др.]. В этих работах наряду с историей вопроса, как правило, подробно рассматриваются принципы выделения и классификации формаций, приводятся определения понятия формация.

В общем случае в настоящее время большинство исследователей под геологической формацией понимают естественноисторическое сообщество генетически (парагенетически) связанных геологических образований (горных пород), возникающих в строго определенных условиях геотектонического развития определенных структур земной коры.

При таком подходе к определению геологической формации возможно выделить абстрактные и конкретные геологические формации (осадочные, осадочно-вулканогенные, магматические,

рудные), и, зная характерные черты формаций — состав, время и геологические условия их образования, — использовать эти особенности для целей регионального металлогенического анализа и прогноза.

Под абстрактной формацией понимаются такие сходные сообщества горных пород, которые возникают в определенной геологической обстановке и характерны для однотипных структурных элементов земной коры, независимо от времени образования и географического местоположения.

В конкретных регионах выделяются конкретные геологические формации, среди которых необходимо выделять формации, типичные не только для главных структурных элементов земной коры (платформ, геосинклинально-складчатых областей, областей тектоно-магматической активизации, срединных массивов и, возможно, океанических впадин), но и для отдельных тектонических структур больших порядков.

Абстрактные формации целесообразно выделять для познания общих геологических закономерностей развития главных структурных элементов земной коры, когда необходимо отразить наиболее типичные и постоянные признаки многих сходных формаций.

Как заметил Н. П. Херасков [423], отношение между абстрактной и конкретной формациями аналогично отношению вида и индивидуума в биологии.

При металлогеническом анализе регионов исследователь сталкивается прежде всего с задачей выделения конкретных формаций, познания их объема, состава, времени и условий проявления. В то же время для всестороннего металлогенического анализа рудоносных территорий чрезвычайно важно оперировать представлениями об абстрактных формациях, анализировать возможность выявления на данной территории новых и, главное, рудных формаций с учетом особенностей проявления абстрактных формаций в сходных тектонических структурах.

Формационный анализ, основой которого является обоснованное выделение родственных, естественных ассоциаций горных пород (геологических формаций), возникающих в сходных геотектонических условиях, имеет важное значение для изучения общих закономерностей размещения рудных месторождений, так как его применение позволяет устанавливать более надежные связи рудных образований с теми или иными геологическими образованиями, возникающими в различных, но строго определенных условиях на тех или иных стадиях развития тектонических структур разных порядков.

Как справедливо отмечает В. А. Кузнецов [190, с. 3], «при выделении конкретных геологических формаций и определении их принадлежности к тому или иному формационному типу важнейшим признаком должен быть именно вещественный состав формаций, т. е. реальный объект исследования». Формационный

анализ геологических образований позволяет подойти к изучению различных геологических обектов с подлинно генетических позиций, увидеть более полно и более контрастно отличия, казалось бы, на первый взгляд, одинаковых природных образований. Эти особенности формационного анализа придают ему важное значение при металлогенических исследованиях, так как применение формационного подхода к изучению закономерностей проявления месторождений полезных ископаемых в земной коре открывает широкие возможности для более объективного выделения определенных групп (ассоциаций) горных пород, генетически или парагенетически связанных с оруденением, позволяет устанавливать более четкие и в то же время многоплановые связи между геологическими образованиями.

Особую роль формационный метод исследования приобретает при составлении прогнозных и металлогенических карт, так как позволяет создать для последних структурно-формационную основу, наглядно отображающую характер размещения в пространстве и во времени парагенных геологических образований. Это, в свою очередь, приводит к более объективному выделению конкретных геологических структур, контролирующих размещение тех или иных групп месторождений. Поэтому можно утверждать, что *формационный анализ является основой металлогенических исследований* [441].

Среди геологических формаций в последнее время различными исследователями выделяются следующие группы формаций: а) осадочные, б) осадочно-вулканогенные, в) магматические, г) метаморфические, д) метасоматические и е) рудные.

В отношении выделения метасоматических и метаморфических формаций не существует единой точки зрения. По мнению некоторых исследователей, эти формации по своим общим признакам резко отличаются и не могут быть сопоставимы с другими группами геологических формаций. Так, Е. Т. Шаталов [441] считает, что вопрос о существовании метаморфических формаций не решен, так как большинство исследователей выделяет только породы различных фаций метаморфизма. В то же время Н. Л. Добрецов, В. С. Соболев и В. В. Хлестов [102], А. А. Маракушев [226], Б. Я. Хорева [424] и другие полагают правомерным выделение самостоятельных метаморфических формаций, возникающих на разных стадиях развития складчатых областей и платформ.

Представления о метасоматических формациях также еще недостаточно разработаны. В последнее время Д. В. Рундквист и И. Г. Павлова [326] предложили классификацию формаций гидротермально-метасоматических пород, рассматривая их как разновидность геологических формаций. Они поставили перед собой задачу подразделения множества гидротермально-метасоматических образований на формации для установления главнейших связей разных групп месторождений полезных ископае-

мых с различными типами измененных пород. В связи с тем, что метасоматические формации, как правило, очень тесно связаны с рудными формациями, а рудный процесс обычно является определяющим при анализе взаимосвязей метасоматитов и руды, по нашему мнению, для целей регионального металлогенического анализа, по-видимому, целесообразно ограничиться выделением только рудных формаций с учетом особенностей проявления метасоматических процессов для каждой из них.

Наибольшие успехи достигнуты в настоящее время в изучении осадочных и магматических формаций, установлены общие закономерности их проявления как в главных структурных элементах земной коры, так и частных тектонических структурах последних. В основу современных классификаций осадочных и магматических формаций наряду с характеристикой их вещественного состава положен тектонический принцип, отражающий приуроченность определенных формаций к конкретным этапам и стадиям развития различных по масштабам тектонических структур. Применение формационного метода к анализу проявления осадочных и магматических пород для целей металлогенического анализа позволяет прежде всего наиболее объективно познать особенности геологического развития конкретных регионов, а также создать надежную структурно-формационную основу для выявления закономерностей размещения оруденения в конкретных структурах. Этот процесс исследования идет одновременно в двух взаимосвязанных направлениях: в первом случае от выделяемых формаций исследователь переходит к выделению тектонических структур, так как конкретные формации являются индикаторами определенных структурных элементов; во втором случае анализ тектонических структур приводит к выделению характерных для них формаций.

Одновременно производится анализ взаимосвязей месторождений и рудопроявлений с геологическими формациями. Прежде всего создается структурно-формационная карта конкретных регионов, графически отражающая взаимосвязи конкретных геологических формаций анализируемого региона между собой и положение формаций в конкретных геологических структурах. Являясь одновременно основой тектонического районирования территории, эта карта должна служить фундаментом всех металлогенических построений, направленных на выяснение закономерностей размещения во времени и в пространстве рудных месторождений, без установления которых достоверный металлогенический прогноз невозможен.

Опыт выделения абстрактных магматических формаций и сопутствующей им минерализации был использован Е. Т. Шаталовым [235], который показал положение магматических формаций в различных структурах геосинклинально-складчатых областей, на платформах, в срединных массивах и вулканических поясах.

Анализ закономерностей размещения магматических формаций во времени в процессе развития земной коры и в ее отдельных структурных элементах подтверждает, по мнению Е. Т. Шаталова, общую стадийную эволюцию геосинклинально-складчатых областей в полном соответствии с представлениями Г. Штилле и Ю. А. Билибина, предполагавших смену проявлений основных магм в ранней геосинклинальной стадии кислыми в средней и поздней и опять основными в конечных этапах. По мнению Е. Т. Шаталова [235], классификации магматических формаций должны быть использованы для выделения различных типов петрографо-металлогенических провинций и отдельных металлогенических зон и районов, однако это должно проводиться и при одновременном изучении рудных месторождений и с учетом их объединения в рудные формации.

Важным элементом металлогенического анализа является установление рудоносности различных типов геологических формаций (осадочных, осадочно-вулканических, магматических, метаморфических). Методы, позволяющие достоверно решать эти важные для прогнозных целей вопросы, различны и включают как чисто эмпирический, статистический подход при оценке рудоносности той или иной формации, так и комплекс тонких геологических, минералогических, геохимических исследований, позволяющих определять родственные (генетические или парагенетические) связи рудных образований с теми или иными комплексами пород. Здесь особое значение приобретают представления о специализированных на то или иное полезное ископаемое геологических формациях.

Понятие о специализированных на определенное полезное ископаемое геологических формациях достаточно полно разработано на примере фосфоритоносных и марганценосных осадочных формаций Н. С. Шатским [442, 443], марганценосных осадочных формаций А. Г. Бетехтиным [34, 35], галогенных формаций А. А. Ивановым [120], оловоносных магматических формаций С. С. Смирновым [359, 360, 363], золоторудных магматических формаций Ю. А. Билибиным [42, 47] и др. Представления о специализированных оловоносных интрузиях, комплексах (формациях), заложенные С. С. Смирновым, по существу получили дальнейшее развитие в известных металлогенических схемах Ю. А. Билибина, впервые в мировой геологической науке показавшего четкие связи различных по типу и генезису рудных месторождений с разными и в то же время строго определенными типами (комплексами) магматических пород. В этом заключается одна из заслуг этого большого ученого. В настоящее время представления о специализированных на то или иное полезное ископаемое формациях достаточно общепризнаны, а их выделение составляет одну из задач металлогенического анализа прежде всего при изучении конкретных регионов и обязательно при прогнозных построениях.

Говоря о специализированных осадочных, осадочно-вулканогенных, магматических и метаморфических формациях, по-видимому, следует допускать возможность существования трех главных форм связи оруденения с конкретными формациями: генетической, парагенетической и структурной. Генетическая форма связи оруденения с геологическими формациями подразумевает «материнскую» связь минерализации с какой-либо формацией, когда по совокупности ряда признаков можно предполагать, что именно данные формации служат непосредственно источником оруденения.

Парагенетическая форма связи оруденения с геологическими формациями отражает такие взаимоотношения минерализации и определенных геологических образований (формаций), когда оруденение и эти образования являются производными одного и того же геологического процесса (например, осадконакопления) и находятся между собой как бы в «братских» связях.

Структурная форма связи оруденения с определенными формациями является только пространственной, когда в силу целого ряда благоприятных обстоятельств, обычно тектонического характера, различные формации и месторождения совмещены территориально, но не связаны между собой генетическими или парагенетическими взаимоотношениями.

Выявление характера связи оруденения с теми или иными геологическими формациями важно для установления истинной рудоносности формаций, что, в свою очередь, связано с оценкой перспектив конкретных геологических формаций в анализируемом регионе.

Следует иметь в виду, как это совершенно верно отмечает В. А. Кузнецов [191], что понятие о рудоносных формациях или рудоносности геологических формаций следует отличать от понятия «рудная формация». В этом вопросе некоторые исследователи все еще, к сожалению, допускают ошибки, отождествляя эти разные представления.

Для регионального металлогенического анализа в настоящее время особое значение приобретают выделение и изучение рудных формаций, и эта часть металлогенических работ имеет важный прикладной характер. Поэтому остановимся более подробно на современных представлениях о рудной формации и значении метода формационного анализа рудных образований для целей металлогении и прогноза.

О рудных формациях. В последние годы в Советском Союзе широкое распространение получил формационный анализ геологических образований, в том числе различных по составу и генезису месторождений полезных ископаемых. Особенно широко формационный метод исследований стал применяться при изучении рудных месторождений. В связи с этим В. А. Кузнецов отмечал: «По-видимому, не будет ошибочным утверждение о том, что сейчас возникает и начинает развиваться учение о

рудных формациях как особая ветвь науки о рудообразовании, подобно тому, как уже оформилось в качестве самостоятельного научного направления учение об магматических формациях [191, с. 312].

В понятие «рудная формация» различные исследователи все еще вкладывают разный смысл. Последнее затрудняет идентификацию представлений о рудной формации.

Термин «рудная формация» впервые введен в практику горного дела западноевропейскими штейгерами, которые понимали под рудной формацией группу рудных образований (обычно жил), характеризующихся сходным набором рудных минералов. В прошлом веке немецкий геолог А. Брейтгаупт [486], обобщив накопленный за многие годы горной практики фактический материал, высказал представления о парагенезисе минералов, отождествив это понятие с уже существовавшим тогда понятием «рудная формация». В таком виде понятие о рудной формации существовало без изменения долгие годы, а некоторыми исследователями применяется и в настоящее время. История возникновения понятия «рудная формация» подробно изложена в работах Р. М. Константинова и И. Т. Макеевой [171] и Р. М. Константинова [165], специально посвященных этой проблеме.

Определяющее значение для формирования современных представлений о рудных формациях имели исследования С. С. Смирнова [358, 359, 363], который впервые изложил новые научные положения о принципах классификации эндогенных месторождений на формационной основе. С. С. Смирнов рассмотрел проблему рудных формаций в двух аспектах: а) при классификации месторождений олова и б) при установлении особенностей рудных образований, которые должны быть положены в основу классификации эндогенных месторождений.

К сожалению, С. С. Смирнов не сформулировал определения «рудная формация», однако из разработанных им классификаций месторождений олова следует, что под рудной формацией он понимал группу эндогенных рудных образований, объединяемых общностью минерального состава, генетических особенностей, геологических условий проявления и сходным экономическим значением.

Совокупность всех промышленных концентраций олова С. С. Смирнов [358] разбил на три крупные группы (формации): а) пегматитовую; б) кварц-касситеритовую и в) сульфидно-касситеритовую. Создание классификации месторождений олова на формационной основе имело большое практическое значение, так как месторождения каждой формации характеризовались определенными промышленными параметрами, и, следовательно, эту классификацию можно было использовать при решении прикладных задач. По мнению С. С. Смирнова, различные рудные формации могут быть связаны с одной и той

же интрузией. В то же время он считал, что, когда удастся с большей определенностью выяснить влияние местных структурно-литологических факторов и глубины образования на тот или иной тип оруденения, число рудных формаций сильно сократится.

Представления С. С. Смирнова, отраженные в классификации оловорудных месторождений, имели большое значение для развития учения о рудных формациях. В дальнейшем Ю. А. Билибин (1951 г.) в лекциях, прочитанных в Ленинградском университете, дал четкое определение рудной формации, развивающее идеи С. С. Смирнова. Под рудной формацией (рудным комплексом) Ю. А. Билибин понимал естественные сообщества или группы рудных месторождений, внутри которых месторождения объединены:

а) сходными парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов (и металлов), определяющих промышленную ценность месторождений (при наличии постепенных переходов в минеральном составе между возможными крайними типами);

б) сходной тектоно-магматической обстановкой образования и генетической связью со сходными типами магматических пород (или в некоторых случаях отсутствием видимой связи с магматическими породами);

в) сходными пределами глубин и температур образования (при наличии непрерывных переходов по глубине и температуре образования между отдельными месторождениями внутри формаций);

г) сходными чертами промышленной характеристики.

В последние годы большой вклад в классификацию рудных образований на формационной основе, в развитие идей С. С. Смирнова и Ю. А. Билибина, внесли В. А. Кузнецов [190, 191, 193, 194] и возглавляемая им школа исследователей рудных месторождений Сибирского отделения АН СССР, а также И. Г. Магакьян [219, 220] и Р. М. Константинов [163, 164].

Учение о рудных формациях, как неоднократно отмечал В. А. Кузнецов, представляет собой особое направление в металлогении, а выделение рудных формаций является важнейшим этапом прогнозных работ. Определение понятия «рудная формация» будет недостаточным, по его мнению [190, 191], если оно будет опираться только на особенности минерального состава месторождений, без учета геологических условий их образования. В. А. Кузнецов совершенно правильно считает, что в этом случае многие сходные по минеральному составу руд, но резко различные по условиям образования месторождения следовало бы объединять в одну рудную формацию, а это не способствовало бы ни металлогеническим исследованиям, ни разработке классификации рудных месторождений. В. А. Кузнецов и его ученики [193, 194] под рудной формацией понимают груп-

пу месторождений со сходными по составу устойчивыми минеральными ассоциациями, принадлежащих к одному генетическому типу и образовавшихся в близких геологических условиях. Они подчеркивают, что это определение не отличается от предложенных ранее Е. Е. Захаровым [115] и Р. М. Константиновым [161].

В интересном исследовании «Рудные формации» В. А. Кузнецов [190] наиболее полно охарактеризовал многогранность проблемы изучения рудных образований на основе применения формационного анализа, показал место рудных формаций среди других геологических формаций, наметил ряды эндогенных рудных формаций и четко сформулировал основные возможности применения метода формационного анализа в металлогении. Эти возможности, по В. А. Кузнецову, заключаются в следующем.

1. Применение методов формационного анализа в металлогении и при изучении рудных месторождений позволяет создать основу учения о рудных формациях как нового научного направления, как особой ветви науки о рудных месторождениях.

2. Рудные формации — самостоятельная система, занимающая определенное положение среди других геологических формаций: осадочных, магматических, метаморфических и метасоматических.

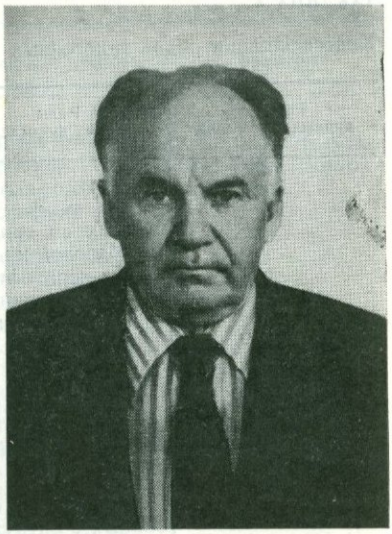
3. Рудная формация должна рассматриваться как основная единица генетических классификаций рудных месторождений. Категорией более крупного масштаба, парагенезисом родственных рудных формаций, является ряд рудных формаций или рудный комплекс.

4. Наборы или ряды рудных формаций определяют металлогенический тип рудных районов и провинций. Выделение рядов рудных формаций имеет большое не только теоретическое, но и практическое значение, позволяя целеустремленно ориентировать геологопоисковые работы на вероятные, хотя пока и не открытые в данном районе, рудные формации, звенья того или иного ряда.

«Задачей дальнейших исследований является разработка вопроса о рядах рудных формаций (рудных комплексах), углубленное изучение типовых рядов рудных формаций, связанных с магматическими комплексами, характерными для магматизма и металлогении рудных провинций и районов различных типов» [190, с. 13].

С учетом вышеизложенного В. А. Кузнецовым разработана систематика рядов рудных формаций на тектонической основе. Выделяется пять крупных групп рудных формаций (табл. 4). В пределах каждой группы устанавливаются определенные ряды рудных формаций, связанных с конкретными типами магматических пород (или без связи с таковыми).

В. А. КУЗНЕЦОВ,
академик, известный исследователь рудных месторождений Сибири и геологии ртутных месторождений



Значительный вклад в изучение рудных формаций внесли работы Р. М. Константинова [161, 163, 171], который разработал основы формационного анализа гидротермальных рудных месторождений и показал значение формационного анализа при металлогенических исследованиях. Р. М. Константинов сформулировал следующие основные задачи формационного анализа рудных месторождений:

а) обоснованное выделение рудных формаций и их разграничение с выяснением особенностей, отличающих промышленные формации от непромышленных;

б) определение формационного типа отдельных месторождений и их прогнозная оценка, выполняемая специальными методами формационного анализа;

в) выяснение соотношений различных рудных формаций в пространстве и во времени и основанное на изучении этих соотношений определение перспектив отдельных рудных районов.

Для решения этих задач Р. М. Константинов разработал новые методы формационного анализа, позволяющие установить определенные критерии для выделения рудных формаций. Последнее обстоятельство имеет важное значение в связи с тем, что (как справедливо указывает Р. М. Константинов) установление на ранних этапах изучения месторождений их принадлежности к промышленным формациям должно способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ. В работах этого исследователя детально рассматривается вопрос изучения минерального состава при формационном анализе месторождений, при этом особое внимание уделяется значению выделения устойчивых минеральных групп, наиболее контрастно

ТАБЛИЦА 4 5-15

Классификация рядов эндогенных рудных формаций по В. А. Кузнецову [148]

Группы рудных формаций	Ряды рудных формаций	Рудные формации	Примеры
I. Группа р. ф. ранних (геосинклинальных) стадий развития складчатых областей	Ряд р. ф., связанных со спилит-диабазовой и кварц-кератофировой вулканическими формациями	Медноколчеданная Колчеданно-полиметаллическая Марганцевая (в. о.) Самородной меди	Алтае-Саянская область, Урал, Казахстан, Кавказ
	Ряд р. ф., связанных с альпинотипными гипербазитами	Хромитовая (м) Хризотил-асбестовая (г) Тальковая (г)	Алтае-Саянская область, Урал, Казахстан
	Ряд р. ф., связанных с интрузиями габбро-плагиогранитной группы	Титаномагнетитовая (м) Медно-никелевая (м) Магнетитовая (с) Кварц-золоторудная (г)	Алтае-Саянская область
		Платиновая (м) Титаномагнетитовая (м) Магнетитовая (с) Меднорудная (с)	Урал
	Ряд р. ф., связанных с формацией гранитных батолитов	Редкометальных пегматитов Слюдяных пегматитов Редкометальная грейзеновая Магнетитовая скарновая Редкометальная альбититовая Кварц-касситеритовая (гр) Кварц-вольфрамит-молибденитовая (гр) Кварц-золоторудная (г)	Алтае-Саянская область, Калба, Верхояно-Колымская область

Продолжение табл. 4

Группы рудных формаций	Ряды рудных формаций	Рудные формации	Примеры
II. Группа р. ф. средних (инверсионных) стадий развития складчатых областей	Ряд р. ф., связанных с формацией гранитоидных батолитов пестрого состава	Магнетитовая скарновая Вольфрамо-молибденовая скарновая Золото-сульфидная скарновая Кварц-золоторудная (г) Свинцово-цинковая (г) Золото-баритовая (г)	Кузнецкий Алатау, Тува, Восточный Саян Закарпатская область, Малый Кавказ, Камчатско-Курильская область
	Ряд р. ф., связанных с эффузивными формациями базальт-андезит-липаритовой группы	Золото-серебряная (г) Золото-висмут-теллуровая (г) Мышьяковая (реальгаровая) Ртутная опалитовая (г) Самородной серы Олово-полиметаллическая (г) Оловянная риолитовая (г)	Охотско-Чукотская область, Приморье
III. Группа р. ф. поздних (орогенных) стадий развития складчатых областей	Ряд р. ф., связанных с субвулканогенными интрузивными формациями габбро-диорит-гранитной группы	Магнетитовая скарновая Меднорудная скарновая Мышьяково-кобальтовая (г) Кварц-касситеритовая (г) Сульфидно-касситеритовая (г) Флюорит-баритсидеритовая и др.	Тува, Малый Кавказ
	Ряд р. ф., связанных с субвулканическими гранитами и щелочными интрузивными комплексами	Вольфрамовая грейзеновая Медно-молибденовая (г) Свинцово-цинковая скарновая (г) Бороносная скарновая Кварц-касситеритовая (г) Сульфидно-касситеритовая (г)	Приморье

Продолжение табл. 4

Группы рудных формаций	Ряды рудных формаций	Рудные формации	Примеры
III. Группа р. ф. поздних (орогенных) стадий развития складчатых областей	Ряд р. ф., связанных с самостоятельными малыми интрузиями основной магмы поздних этапов развития складчатых областей	Колчеданно-полиметаллическая Барит-полиметаллическая Золото-сульфидная (г) Кварц-золоторудная (г)	Салаир, Рудный Алтай
IV. Группа р. ф. платформенных областей	Ряд р. ф., связанных с трапповыми комплексами	Титаномагнетитовая (м) Магномагнетитовая (с) Медно-никелевая сульфидная (м) Свинцово-цинковая (г) Исландского шпата (г)	Сибирская платформа
	Ряд р. ф., связанных с ультраосновными-щелочными интрузиями и кимберлитами	Редкометальная карбонатитовая Апатит-магнетитовая (м) Нефелиновая (м) Алмазная (м)	Сибирская платформа
V. Группа р. ф. областей тектоно-магматической активизации	Ряд р. ф., связанных с малыми интрузиями щелочных базальтоидов	Золото-сульфидная (г) Золото-серебряная (г) Флюоритовая (г) Свинцово-цинковая (г) Сурьмяно-вольфрамовая (г) Ртутная (г)	Алданский массив, Забайкалье Алтае-Саянская область
	Ряд р. ф., связанных с внемагматическими источниками	Свинцово-цинковых руд (т) Медистых песчаников (т) Ртутная телетермальная и др.	

В скобках: м — магматическая; с — скарновая; г — гидротермальная; т — телетермальная; гр — грейзеновая; в. о. — вулканогенно-осадочная

характеризующих минеральный состав рудной формации. Вслед за Д. И. Горжевским [93] Р. М. Константинов подчеркивает необходимость использования количественных соотношений некоторых минералов в рудах для определения формационной принадлежности месторождения, указывая, что этот метод применим для месторождений, несущих комплексное оруденение из трех и более компонентов.

Специальным методом формационного анализа, позволяющим выяснить связь изменений минерального состава месторождений с особенностями геологического строения конкретных регионов и обосновать выделение тех или иных рудных формаций, Р. М. Константинов считает изучение рядов рудных формаций. По его мнению, этот метод позволяет более достоверно выявлять взаимосвязи между различными особенностями минерального состава группы месторождений и геологическими условиями их нахождения, а также уточнять некоторые другие особенности минерального состава и условий нахождения месторождений, необходимые для правильного выделения и разграничения рудных формаций.

Существо сравнительного метода изучения месторождений путем анализа рядов рудных формаций заключается в том, что в исследуемой группе месторождений, объединяемых каким-либо общим признаком (например, месторождения золота), выявляются группы «переходных» минералов, т. е. таких, значение которых изменяется от одних месторождений к другим. Затем месторождения рассматриваются в соответствии с постепенным изменением количества каких-либо из представляющих интерес переходных минералов с целью выявления геологических факторов, влияющих на эти изменения.

Например, для выяснения причин, обусловливающих изменение соотношений золота и серебра в рудах золото-серебряных месторождений, может быть изучен ряд халцедон-адуляр-кварцевых месторождений, где противоположные крайние члены будут представлены существенно золотосодержащими и существенно серебряными объектами. По определенной системе составляются геологические характеристики месторождений — членов ряда. В них включаются особенности региональных геологических структур, в которых локализуются месторождения; состав пород, преобладающих в пределах рудного поля; приуроченность месторождений к определенным структурным этажам; состав пород, непосредственно вмещающих рудные тела; особенности проявлений магматизма; особенности локального структурного контроля оруденения; глубина образования месторождений по геологическим данным; вертикальный размах оруденения; явления рудной зональности и другие признаки.

Перечисленные геологические особенности сравниваются у различных месторождений одновременно с изменением их ми-

нерального состава с целью выявления соответственно изменяющейся группы геологических факторов.

При изучении различных конкретных рядов рудных формаций было установлено, что изменения количества «переходных» минералов происходят по-разному. В одних случаях этот переход имеет место в минеральных ассоциациях, образовавшихся примерно одновременно. Такие ряды были названы горизонтальными. В других же случаях переход происходит путем уменьшения и последующего полного выпадения минеральных ассоциаций одних стадий при постепенном увеличении роли других стадийных минеральных ассоциаций. Такие ряды формаций были названы вертикальными.

Изучение рядов рудных формаций охарактеризованным методом позволяет, во-первых, более точно выяснить формационную принадлежность месторождений; во-вторых, определить взаимосвязи между минеральным составом и геологическими факторами образования месторождений; в-третьих, на основании выявленных таким образом взаимосвязей прогнозировать участки возможной локализации месторождений недостающих членов ряда в конкретных рудных районах, в которых ранее они не были известны.

Важной особенностью работ Р. М. Константинова является применение логико-информационных методов изучения рудных формаций, основанных на использовании современных методов обработки информации и решении задач формационной принадлежности рудных образований с помощью математики. При отнесении месторождения к той или иной формации и выделении определенных рудных формаций решение вопроса определяло в значительной степени субъективное отношение исследователя к фактическому материалу.

Р. М. Константинов впервые попытался применить математический аппарат для решения указанных вопросов и установить с помощью математики объективные критерии подразделения месторождений на рудные формации. Отражением этой работы является созданная Р. М. Константиновым классификация оловорудных месторождений на формационной основе, которая была получена путем обработки на ЭВМ комплекса данных по ста пятидесяти месторождениям. Для каждой оловорудной формации этим исследователем получены усредненные характеристики минерального состава и геологических условий, позволяющие определить формационный тип любого гидротермального оловорудного месторождения. Р. М. Константинов показал возможности использования дискретного анализа для исследования данных о влиянии геологических факторов на образование крупных месторождений, относящихся к одной формации. Он получил «информационные веса признаков» крупных кассиterит-сульфидных месторождений и на этой основе выявил признаки, указывающие на масштабы месторождений.

Р. М. Константинов отметил важное значение формационного анализа для прогноза вероятных типов оруденения в пределах рудных районов и определения вероятных масштабов выявленных рудопроявлений; им обращено особое внимание на необходимость количественной оценки степени сходства месторождений промышленно-ценных формаций. Важное значение имеет следующий вывод Р. М. Константинова: после того как установлена формационная принадлежность месторождения, его прогнозную оценку можно достаточно эффективно проводить объективными методами распознавания образов, основанными на дискретном анализе. Применение этих методов позволяет в наш геологический подход внести элемент строгой математической оценки геологических явлений.

По мнению Р. М. Константинова, главными критериями выделения рудных формаций являются следующие особенности месторождений:

а) по минеральному составу — наиболее полно проявленные устойчивые (т. е. повторяющиеся на всех месторождениях данной формации) минеральные ассоциации;

б) по геологическим признакам — повторяющиеся на всех месторождениях формации геологические особенности, характеризующие магматический контроль оруденения, региональную и локальную тектонику, состав и другие свойства вмещающих пород;

в) прочие критерии, к которым относятся околорудные изменения, типоморфные особенности минералов, элементы-примеси в рудах и др.

По Р. М. Константинову, критерием обоснованности выделения рудных формаций является существование зависимости между устойчивыми минеральными ассоциациями и геологическими признаками формации.

Опыт применения формационного анализа к классификации рудных месторождений СССР и отдельных крупных регионов использован И. Г. Магакьяном [219, 220], П. М. Татариновым и П. А. Строной [384], В. С. Кормилицыным [176], В. С. Кормилицыным, П. А. Строной, П. М. Татариновым [177, 178] и др. В этих исследованиях сделаны попытки выделить ряды и типы рудных формаций, показать возможность использования понятия о рудных формациях для решения практических задач. Последнее важное обстоятельство неоднократно подчеркивал И. Г. Магакьян, отмечая, что главный практический смысл выделения рядов рудных формаций состоит в выявлении еще неоткрытых звеньев того или иного ряда формаций, поиски которых в определенных, конкретных регионах должны составлять одну из задач геологоразведочных работ. Главные типы рудных формаций недавно охарактеризованы П. А. Строной [379]. Им выделены 43 рудных формации, которые объединяют подавляющее большинство промышленных рудных и нерудных ме-

сторождений; рассмотрены особенности их формирования, возраст и генетические особенности. Обобщающее исследование А. П. Строны вновь заостряет внимание на большом значении выделения и изучения рудных формаций для целей металлогенического анализа, подчеркивает возможности применения классификации месторождений на формационной основе для решения практических задач и металлогенических построений.

Указанные выше исследователи придерживаются различных представлений об объеме понятия «рудная формация», иногда слишком расширяя его. И правильно отметил В. А. Кузнецов [190], что для рудных образований (формаций) принцип их соответствия геологическим формациям не применим. Идея В. С. Кормилицына о том, что магматическому комплексу должна соответствовать только одна рудная формация, надумана и в силу этого спорна. В действительности практика металлогенических исследований в разных регионах (металлогенических провинциях) показывает, что одна конкретная магматическая формация сопровождается в ряде случаев несколькими рудными формациями. Это явление отражает объективно существующую закономерность в развитии геологических процессов, заключающуюся в усложнении связей и их бóльшей многогранности и дробности между различными геологическими формациями. Это выражается прежде всего в том, что число рудных формаций, связанных с определенными геологическими формациями, постепенно возрастает, начиная от осадочных формаций (нет или одна), и увеличивается к магматическим и метаморфическим (?) формациям, с которыми часто связаны несколько рудных формаций. В этом заключается одна из особенностей проявления рудных формаций в процессе эволюции главнейших тектонических элементов земной коры, прежде всего геосинклинально-складчатых областей.

По нашему мнению, несколько уточняя определение В. А. Кузнецова [190], под рудной формацией следует понимать естественное сообщество рудных образований, объединяемых между собой сходными парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов и тектоно-магматическими условиями проявления, а также близкими особенностями развития рудного процесса. Последнее обстоятельство является, по нашему мнению, очень важным, так как отражает специфические черты процессов рудообразования, свойственные месторождениям только определенных формаций. В этом случае под развитием рудного процесса понимается его общая направленность, выражающаяся прежде всего в определенной последовательности и масштабности проявления отдельных стадий и этапов минерализации, характерных для месторождений конкретных формаций. С учетом последнего обстоятельства в одну формацию тогда могут быть включены различные по генетическим особенностям минеральные образования, однако возника-

ющие в условиях проявления единого, сложного рудного процесса, ведущего к возникновению различных по генезису минеральных ассоциаций.

При таком условии выделения рудных формаций в одну рудную формацию могут попасть разные по генезису минеральные образования, представляющие собой составные части единого рудного процесса. Примером может служить Джидинское молибден-вольфрамовое месторождение, образованное в несколько стадий минерализации от высокотемпературных пегматитовых до стадий халцедоновидного кварца с флюоритом и ферберитом, при ведущем значении среднетемпературных вольфрамит-сульфидно-кварцевых стадий, определяющих «лицо» месторождения и его основное промышленное значение. Необходимо иметь в виду, что месторождения определенных формаций, как и вся формация в целом, всегда имеют свойственные только данной формации промышленные параметры. Последнее обстоятельство следует учитывать, особенно при выделении конкретных формаций в конкретных регионах.

В настоящее время можно считать, что представления о рудных формациях, несмотря на существующие различия в оценках объема этого понятия, завоевали признание исследователей рудных месторождений и (это особенно важно!) находят применение при геологоразведочных работах и региональных металлогенических исследованиях.

В последние годы создан ряд классификаций для месторождений золота, вольфрама, олова, свинца и цинка и других полезных ископаемых, в основу которых положены представления о рудных формациях. Эти работы не только важны как классификации рудных образований на формационной основе; они являются серьезными исследованиями в области металлогении отдельных элементов, в определенной степени восполняющими пробел в этом направлении металлогенических исследований. К таким работам относятся известные классификации месторождений железа (Г. А. Соколов), ртути (В. А. Кузнецов), золота (И. С. Рожков, Н. В. Петровская), молибдена (Н. А. Хрущов, В. Т. Покалов), вольфрама (Е. П. Малиновский, А. Д. Щеглов), свинца и цинка (Д. И. Горжевский), сурьмы (В. П. Федорчук), редких элементов (А. И. Гинзбург) и др.

Р. М. Константинов [171], И. Г. Магакьян [219], а вслед за ними В. С. Кормилицын, П. А. Строна и П. М. Татаринов [178] составили классификации рудных формаций для целей металлогенического анализа. Эти классификации основаны на сходных принципах, но тем не менее существенно отличаются друг от друга. Они интересны тем, что отражают реальную возможность создания общей классификации рудных месторождений на формационной основе для крупных структурных элементов земной коры. Разработка таких классификаций, определение их принципов и методов подхода к подразделению рудных образований

на формации несомненно имеют важное значение для металлогенического анализа конкретных регионов. В то же время создание классификаций месторождений на формационной основе не исключает необходимости совершенствования общей классификации месторождений полезных ископаемых по генетическим типам. Эти классификации должны создаваться одновременно, развивая общие представления о систематике минеральных образований.

Классификация эндогенных месторождений по формациям при металлогеническом анализе конкретных регионов имеет большое значение для решения прикладных задач. Для целей практики необходимо выявление отличительных (диагностических) особенностей эндогенных месторождений главнейших рудных формаций, что наиболее просто может быть осуществлено путем сопоставления стадий минерализации (с установлением относительного времени проявления и минерального состава каждой стадии, в том числе структурных и текстурных особенностей руд различных стадий), пространственного размещения минеральных образований разных стадий и околорудных изменений, структур рудных полей. Примеры расчленения месторождений по формациям таким путем нами были изложены ранее [457].

В некоторых случаях, как это и предлагает В. А. Кузнецов [190], для конкретных рудных формаций можно применять термин «рудный комплекс», с указанием его собственного (обычно географического) названия. Опыт такой классификации нами был принят при металлогеническом анализе территории Западного Забайкалья (табл. 5). Из рассмотрения таблицы следует, что в этом регионе наиболее контрастно проявились двенадцать рудных формаций, для каждой из которых характерны специфические тектоно-магматические особенности образования и состав месторождений.

В заключение отметим, что за прошедшие почти сорок лет после появления первой классификации оловорудных месторождений одного из основоположников металлогенического анализа С. С. Смирнова научные принципы, положенные в ее основу и явившиеся надежным фундаментом для современных представлений о рудных формациях, прочно завоевали признание советских геологов. В классификации С. С. Смирнова впервые нашли удачное и правильное сочетание минералогические, генетические, общегеологические (тектоно-магматические) и экономические принципы систематики рудных образований. Именно поэтому данная классификация успешно служит решению практических задач и является образцом классификации минеральных образований, созданной на формационной основе. И именно поэтому научные принципы этой классификации стало возможным применять при создании научных систематик других минеральных образований. Они широко используются советски-

ТАБЛИЦА 5

Классификация эндогенных месторождений Западного Забайкалья на формационной основе

Рудные формации	Складчатые области			Область мезозойской активизации байкальских и каледонских структур
	Байкальская	Каледонская	Герцинская	
А. Связанные с развитием геосинклинальных областей				
I. *Стадия геосинклинального прогибания*				
1. Формация хромитовых месторождений в связи с ультраосновными интрузиями в зонах разломов в начальных вулканогенных прогибах		Цакирский хромитовый рудный комплекс		
2. Формация титаномагнетитовых месторождений в связи с интрузиями основных пород, иногда в зонах сочленения внутригеосинклинальных поднятий с прогибами		Моностойский титаномагнетитовый рудный комплекс		
II. *Стадия восходящих движений и главных фаз складчатости*				
3. Формация золото-кварцевых месторождений (с шеелитом, реже с антимонитом) в связи с добатолитовыми интрузиями диоритов			Воскресенский золото-шеелитовый комплекс	
4. Формация мусковитовых пегматитовых месторождений в связи с кислыми гранитами	Туранский пегматитовый комплекс			
5. Формация скарновых и гидротермальных месторождений (Fe, Pb, Zn, Mo, W, Au) в связи со складчатыми (?) интрузиями умереннокислых гранитов		Джидинский многокомпонентный рудный комплекс		

Продолжение табл. 5

Рудные формации	Складчатые области			Область мезозойской активизации байкальских и каледонских структур
	Байкальская	Каледонская	Герцинская	
6. Формация редкометальных пегматитовых месторождений (Sn, W, Mo) в связи с соскладчатыми плутонами кислых гранитов			Даурский редкометальный пегматитовый рудный комплекс	
7. Формация редкометальных пневматолито-гидротермальных и высокотемпературных гидротермальных месторождений (Sn, W, Mo) в связи с кислыми и ультракислыми позднескладчатыми интрузиями			Асакан-Шумиловский редкометальный рудный комплекс	
III. *Стадия консолидации складчатых структур*				
8. Формация вольфрамит-кварцевых месторождений в связи с послескладчатыми трещинными интрузиями гранит-порфиров			Куналейский вольфрамитовый рудный комплекс	
Б. Связанные с процессами мезозойской активизации байкальских и каледонских складчатых структур				
9. Формация молибденовых рудопроявлений грейзенового и гидротермального типов в связи с аляскитами поздних фаз щелочных интрузий				Ходжертуйшалотский молибденовый рудный комплекс
10. Формация молибден-вольфрамовых месторождений (часто обогащенных сульфидами свинца и цинка) в связи с трещинными интрузиями гранитоидов малых глубин				Гуджирский молибден-вольфрамовый рудный комплекс

Продолжение табл. 5

Рудные формации	Складчатые области			Область мезозойской активизации байкальских и каледонских структур
	Байкальская	Каледонская	Герцинская	
11. Формация серицит-молибденит-кварцевых месторождений в связи с кислыми трещинными интрузиями малых глубин				Витимский молибденовый рудный комплекс
12. Формация флюоритовых месторождений в ассоциации с другими рудопроявлениями эпитермального типа (Au, Sb, Hg, As) в связи с зонами молодых разломов и дайками сиенитов				Селенга-хилокский флюоритовый (эпитермальный) рудный комплекс

ми геологами при выделении рудных формаций и решении важных практических вопросов при металлогеническом анализе конкретных регионов.

ГЛАВА 6

ИЗУЧЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

При металлогеническом анализе конкретных регионов необходимо специальное изучение рудных месторождений. Это связано прежде всего с тем, что в настоящее время без познания генетических особенностей месторождений невозможно объективное установление закономерностей проявления месторождений в различных структурах. Ибо в особенностях самих месторождений отражаются тектонические условия их возникновения, которые в конечном счете определяют формационную принадлежность тех или иных рудных образований.

В последние годы опубликовано много работ, посвященных различным вопросам металлогенических исследований. В этих работах, как правило, значительное внимание уделяется характеристике рудных месторождений, а методические вопросы, связанные со специальным изучением рудных образований для целей металлогенических исследований, не находят должного отражения.

Впервые на необходимость специального изучения рудных месторождений при проведении металлогенических работ обратил внимание Ю. А. Билибин. По его мнению, «в задачу металлогенического изучения рудных месторождений должно входить выяснение и установление тех специфических особенностей их, которые могли бы служить отличительными или диагностическими признаками для месторождений различных рудных комплексов» [43, с. 108]. На более углубленное изучение особенностей месторождений различных рудных комплексов указывал Г. С. Лабазин [205], который отмечал, что одной из задач металлогенических исследований является выяснение вопроса об особенностях выделяемых рудных комплексов и составляющих их групп месторождений различных типов. Методическим вопросам изучения рудных месторождений для целей крупномасштабных металлогенических исследований посвятил ряд работ Р. М. Константинов [161, 163]. Однако до настоящего времени вопросы специального изучения рудных месторождений для целей металлогенических исследований еще не получили должного развития.

Между тем практика работ по сравнительному изучению месторождений той или иной формации показывает, что для правильного понимания общих особенностей металлогении данного региона необходимо специальное изучение рудных месторождений в определенных аспектах, способствующих скорейшему выявлению отличительных признаков месторождений различных рудных формаций. Это прежде всего относится к гидротермальным месторождениям, которые в некоторых случаях достаточно сходны по минеральному составу, но различны по времени образования и генетическим особенностям.

Весьма часто при региональных металлогенических исследованиях вопрос об отнесении того или иного месторождения к определенной рудной формации решается только путем установления пространственной связи оруденения с интрузивами, петрографическая и петрохимическая характеристики которых близки действительно хорошо изученным металлоносным интрузиям. При этом связь с месторождениями определенной рудной формации не вызывает сомнений. В то же время совершенно очевидно, что далеко не всегда можно однозначно решить вопрос о связи того или иного месторождения с определенной группой интрузивных пород. В этом случае установление отличительных признаков месторождений разных рудных формаций становится особенно важным, так как по существу является единственным критерием, позволяющим обоснованно относить конкретные месторождения к той или иной рудной формации. Однако, как правило, при региональных металлогенических исследованиях рудные образования (месторождения) не подвергаются специальному сравнительному изучению и в лучшем случае сопоставляются только по минеральному составу. Это часто

приводило к серьезным ошибкам, так как месторождения разных типов и возраста объединялись в одну формацию или, наоборот, без должных оснований относились к различным группам. Особенно многочисленны такие ошибки в регионах со сложным геологическим строением, где возраст рудоносных интрузий устанавливается с трудом.

Кроме того, при региональном металлогеническом анализе, когда необходимо решение многих сложных вопросов, связанных в первую очередь с тектоническим и металлогеническим районированием и выявлением разных факторов контроля оруденения, вопросам изучения самих рудных образований практически не уделялось должного внимания. Учитывая это, а также необходимость одновременного изучения самих рудных образований целесообразно проводить исследование последних по ограниченной программе только путем специального сравнительного изучения, которое должно обеспечить решение двух задач: подразделения рудных образований на формации и выявления их отличительных признаков.

Ю. А. Билибин указывал, что среди признаков, свойственных месторождениям разных рудных комплексов (формаций), следует отличать признаки, «...характерные только для данного рудного комплекса, являющиеся местной, провинциальной, особенностью, и признаки, характерные для всех подобных рудных комплексов, т. е. являющиеся отличительной особенностью оруденения, связанного с определенной интрузивной формацией» [43, с. 108].

В настоящей главе мы не разбираем отличительные признаки месторождений различных рудных формаций конкретного региона и не приводим характеристики особенностей оруденения, связанного с определенными группами интрузивных пород. В нашу задачу входит только рассмотрение некоторых методических вопросов изучения рудных месторождений при региональных металлогенических исследованиях. Приводимые примеры относятся в первую очередь к гидротермальным месторождениям вольфрама, молибдена и олова, которые более часто образуют сходные по минеральному составу, но различные по генетическим особенностям месторождения различных рудных формаций.

Ю. А. Билибин [43] отмечал, что большое значение для металлогенических исследований имеет разработка критериев для определения глубин образования рудных месторождений. Последние он предполагал установить путем сравнительного изучения структур рудных полей, минерального состава руд и их структурных и текстурных особенностей, а также околорудных изменений вмещающих пород различных месторождений.

Практика металлогенических исследований показывает, что с некоторыми дополнениями такое сравнительное изучение рудных месторождений вполне может быть применимо к задачам

выявления специфических особенностей месторождений различных рудных формаций, причем при таком изучении рудных месторождений особое значение приобретают выявление и сравнительное изучение стадий минерализации[1]. Это обусловлено прежде всего характерной особенностью многих гидротермальных месторождений — их формированием в несколько последовательно проявляющихся стадий минерализации. Как известно, стадии минерализации устанавливаются по пересечению рудных жил и прожилков различного минерального состава, а также по наличию руд с брекчиевой текстурой, в которых обломки ранее отложенных минеральных ассоциаций сцементированы агрегатами минералов, образовавшимися позднее. Как правило, не во всех месторождениях одной рудной формации устанавливается одинаковое число стадий минерализации. Руды некоторых стадий обычно фиксируются в одних месторождениях и отсутствуют в других, а интенсивность проявления минеральных ассоциаций сходных стадий почти всегда различна.

Тем не менее сопоставление последовательности проявления стадий минерализации в отдельных месторождениях позволяет выявить общую направленность в развитии рудного процесса в месторождениях определенного рудного комплекса и тем самым установить их главные наиболее характерные генетические особенности. В месторождениях одной рудной формации стадии минерализации проявляются в определенной последовательности, чаще всего от более высокотемпературных к менее высокотемпературным, отражая естественную эволюцию процесса рудообразования.

Следует отметить, что во многих месторождениях в связи с установлением стадий минерализации упрощается дальнейшее сравнительное изучение структурных и текстурных особенностей руд, изучение околорудных изменений вмещающих пород и явлений зональности. По существу стадии минерализации являются теми характерными рудообразующими процессами, которые фиксируют, как в фокусе, все генетические особенности изучаемых месторождений.

Поэтому выявление и изучение стадий минерализации приобретают особое значение для установления отличительных признаков месторождений, на основании которых можно относить последние к той или иной рудной формации. Учитывая это, а также используя известные представления Ю. А. Билибина [43] о критериях глубинности рудных образований, можно наметить некоторые основные задачи сравнительного изучения рудных

---

[1] Под термином «стадии минерализации» понимаются связанные с одним и тем же источником рудообразующие процессы, разделенные во времени относительно короткими интервалами и приводящие к образованию в одном месторождении, как правило, различных минеральных ассоциаций [31].

месторождений с целью установления отличительных признаков представителей разных рудных формаций. Эти задачи состоят в сравнительном изучении:

1) стадий минерализации (с установлением относительного времени проявления и минерального состава каждой стадии), в том числе структурных и текстурных особенностей руд;

2) околорудных изменений вмещающих пород в связи с процессами образования руд различных стадий;

3) пространственного размещения минеральных образований разных стадий;

4) структур рудных полей.

Совершенно очевидно, что к месторождениям, образовавшимся в одну стадию минерализации, такой характер изучения применим только частично. Однако образование месторождений в одну стадию минерализации относится, как правило, к месторождениям, возникающим в абиссальных условиях, тогда как в месторождениях, формирующихся в близповерхностной обстановке, стадии минерализации проявлены четко. Здесь следует иметь в виду, что минеральные продукты отдельных стадий не всегда могут быть совмещены в пределах одних и тех же рудных тел и реже месторождений. В этих случаях решение вопроса о принадлежности таких рудных образований (только по их вещественному составу) к той или иной рудной формации является очень сложной задачей. Поэтому в процессе изучения некоторых месторождений установление характерных особенностей каждой стадии для выявления отличительных признаков месторождений разных формаций приобретает особое значение.

Перейдем к рассмотрению нескольких примеров, иллюстрирующих необходимость сравнительного изучения стадий минерализации и других явлений, с ними связанных, для установления специфических отличительных особенностей месторождений различных рудных формаций. В первую очередь рассмотрим месторождения Прибайкалья, Западного и Восточного Забайкалья, известные автору по личным исследованиям.

1. В Западном Забайкалье на территории Бурятии широко распространены молибденовые и вольфрамовые месторождения, причем в некоторых из них вольфрамовая и молибденовая минерализация проявляется совместно. Эти месторождения генетически связаны с трещинными интрузиями гранит-порфиров и реже лейкократовых гранитов, образующимися в областях тектонической активизации. Изучение месторождений Джидинского района, расположенных на юге Западного Забайкалья, предпринятое И. П. Кушнаревым, М. М. Повилайтис и др., показало, что эти месторождения формировались в несколько стадий минерализации. Наиболее ранними являются молибденовые руды, представленные кварцевыми прожилками и жилами с молибденитом, полевым шпатом и флюоритом. В более поздние стадии формируются кварц-вольфрамитовые жилы с

сульфидами, а также жилы халцедоновидного кварца. Взаимоотношения руд различных стадий устанавливаются по пересечению прожилков различного минерального состава. Являясь более ранними и более высокотемпературными, кварц-молибденитовые прожилки локализуются в пределах штоков гранит-порфиров, в то время как кварц-вольфрамитовые жилы располагаются в удалении от материнских пород. Такая пространственная зональность обусловлена прерывистым характером поступления качественно различных рудоносных растворов в трещинные полости, возникающие в разное время. Кварц-молибденитовые руды обычно ассоциируют с интенсивно грейзенизированными породами, а кварц-вольфрамитовые залегают среди окварцованных, пиритизированных и серицитизированных вмещающих пород.

Отмеченные выше особенности месторождений были правильно поняты только после работ И. П. Кушнарева и М. М. Повилайтис, уделивших особое внимание изучению стадий минерализации и последовательности их проявления в связи с особенностями развития тектонических структур. Работы этих исследователей позволили выделить на юге Бурятии вполне определенную группу (формацию) молибденовых и вольфрамовых месторождений, характерной особенностью которой является более раннее проявление высокотемпературной молибденовой минерализации по отношению к более позднему и относительно более низкотемпературному вольфрамовому оруденению. Для месторождений этой формации характерно зональное размещение оруденения вокруг рудоносных материнских интрузий, что установлено в результате изучения особенной размещения в пространстве руд различных стадий.

Месторождения рассматриваемой группы пространственно и генетически связаны с небольшими по размерам интрузиями гранит-порфиров и реже лейкократовых гранитов. Эти интрузии обычно приурочены к четко фиксируемым зонам разломов, образуя в некоторых случаях вдоль последних цепочки интрузий.

Некоторые редкометальные месторождения, расположенные на севере Бурятии, весьма сходны по минеральному составу с месторождениями рассмотренной выше группы. Часть из них также характеризуется комплексным молибденовым и вольфрамовым оруденением. В связи с этим до последнего времени считалось, что некоторые северные месторождения аналогичны редкометальным месторождениям южных районов. Однако изучение особенностей северных месторождений в аспекте выявления стадий минерализации и определения места и масштабов каждой из них позволило выявить самостоятельную группу (формацию) редкометальных месторождений, существенно отличную от редкометальных месторождений, развитых в южных районах Бурятии.

На одном из наиболее детально изученных северных месторождений устанавливается несколько стадий минерализации. Вольфрамовая стадия, представленная кварцевыми жилами и прожилками серого крупнокристаллического кварца с вольфрамитом, висмутином, крупночешуйчатым молибденитом и флюоритом, является более ранней по отношению к основному молибденовому оруденению. Последнее устанавливается по четким пересечениям кварц-вольфрамитовых руд и окружающих их грейзеновых зон более поздними кварцевыми прожилками с мелкочешуйчатым молибденитом. Такие прожилки и небольшой мощности кварцевые жилы имеют обычно полосчатое строение, обусловленное расположением мелкочешуйчатого молибденита в виде тонких полосок, следующих параллельно зальбандам. Они обычно залегают среди интенсивно серицитизированных, а часто сильно окварцованных и хлоритизированных пород. В последующие стадии возникают прожилки безрудного кварца и секущие их тонкие жилки флюорита и карбонатов.

На месторождении также наблюдается горизонтальная зональность, обусловленная прерывистым характером поступления различных порций гидротермальных растворов в относительно разные по времени раскрытия трещины. Однако эта зональность обратна зональности на редкометальных месторождениях южных районов. Более высокотемпературные руды вольфрамовой стадии минерализации локализуются главным образом вблизи и в пределах рудоносных гранит-порфиров, в то время как молибденовые руды размещаются в 1 км от последних.

Таким образом, для некоторых сходных по минеральному составу редкометальных месторождений северных районов Бурятии оказалось характерным проявление вольфрамового оруденения раньше молибденового. Это, в свою очередь, обусловило иной характер зональности по сравнению с месторождениями южных районов. В последних молибденовая минерализация локализуется в пределах материнских интрузивов, тогда как в северных месторождениях молибденовые руды приурочены к зонам экзоконтакта, а вольфрамовые — к рудоносным массивам. Такие особенности месторождений северных районов Бурятии позволили выделить их в самостоятельную группу редкометальных месторождений, главная особенность которых состоит в проявлении молибденового оруденения, возникающего позднее вольфрамового.

Сравнение масштабов проявления молибденовой и вольфрамовой минерализации в месторождениях обоих типов показывает, что в месторождениях южных районов вольфрамовое оруденение развито наиболее интенсивно, тогда как молибденовая минерализация является ведущей для северных месторождений.

При дальнейшем изучении установлена генетическая связь месторождений с гранит-порфирами, для которых в отличие от сходных рудоносных интрузивов южных районов характерен не

альбит, а плагиоклазы олигоклазового ряда и несколько повышенное содержание биотита.

Таким образом, изучение сходных по минеральному составу редкометальных месторождений Западного Забайкалья в аспекте выявления стадий минерализации позволило установить определенные диагностические признаки месторождений, на основании которых они могут быть отнесены к двум существенно различным формациям рудных месторождений. Выявление этих признаков важно не только для металлогенических исследований. Они имеют и практическое значение, так как непосредственно связаны с направлением поисковых работ. Если в первом случае в месторождениях, где вольфрамовое оруденение проявляется позднее молибденового, поиски молибденовых руд следует проводить главным образом в контуре материнских интрузивов, то во втором случае — в далеком экзоконтакте рудоносных массивов.

2. Второй пример заимствован у Н. А. Хрущова [428] и относится к молибденовым месторождениям. По его данным, главнейшими отличительными признаками месторождений кварц-молибденит-серицитовой формации являются многостадийность процесса рудоотложения, обратная вертикальная зональность, прожилковая и брекчиевая текстуры руд, а также интенсивные околорудные изменения вмещающих пород, выраженные в их серицитизации, окварцевании, пиритизации, флюоритизации и калишпатизации.

Эти месторождения обычно связаны с трещинными интрузивами умереннокислых пород (гранодиоритами, гранодиорит-порфирами и амфибол-биотитовыми гранитами) и включены Г. С. Лабазиным [205] в состав молибдено-золотой рудной формации поздних стадий развития подвижных зон.

В тех случаях, когда связь месторождений с интрузивными породами не устанавливается и структурные условия их локализации недостаточно ясны, отличительные признаки, выявленные Н. А. Хрущовым, приобретают особое значение в связи с тем, что они служат критериями для определений принадлежности месторождений к молибдено-золотой рудной формации. Кроме того, эти признаки позволяют отличать молибденовые месторождения молибдено-золотой рудной формации от кварц-молибденовых месторождений средних стадий развития геосинклинальных зон. Для последних обычно характерны простой минеральный состав, одностадийность процесса рудоотложения и грейзенизированные вмещающие породы.

Установление отмеченных признаков, что совершенно справедливо отмечает Н. А. Хрущов [428], имеет и практическое значение, так как позволяет относить молибденовые месторождения к различным рудным комплексам и уже на первых стадиях разведочных работ решать вопрос о перспективах оруденения.

Перечисленные выше главнейшие отличительные признаки молибденовых месторождений двух различных формаций наиболее отчетливо выявляются при изучении стадий минерализации.

Именно при таком изучении удается установить, что в месторождениях молибдено-золотой рудной формации (по Г. С. Лабазину) молибденит отлагается в несколько стадий минерализации. При этом в рудах первой стадии, имеющих ограниченное распространение, крупночешуйчатый молибденит связан с крупнозернистым кварцем, тогда как наиболее продуктивные руды последующих стадий представлены мелкозернистым кварцем с тонкораспыленным молибденитом [427, 428, 453]. В некоторых месторождениях на молибденовые руды накладывается обильная сульфидная минерализация, часто с золотом. Процессы оруденения заканчиваются, как правило, проявлением кварц-карбонатных прожилков и жил халцедоновидного кварца.

Многостадийный характер образования руд обусловливает появление полосчатых и брекчиевых текстур, столь характерных для месторождений молибдено-золотой рудной формации. В одних случаях более поздние руды локализуются в полостях, раскрывающихся параллельно зальбандам рудных тел, и тогда образуются полосчатые текстуры; в других подновление рудовмещающих трещин происходит в результате интенсивного дробления всей массы ранее отложенных руд, и тогда возникают брекчиевые текстуры, где обломки руд первых стадий сцементированы минеральными образованиями последующих стадий минерализации.

Явления зонального строения рудных тел также обнаруживаются наиболее отчетливо при изучении особенностей размещения руд различных стадий в пределах отдельных жил. Такой подход позволяет установить положение руд разных стадий минерализации в пространстве и тем самым в каждом конкретном случае дать ответ — наблюдаются ли в данном месторождении явления зональности и если да, то какого типа.

Н. А. Хрущов [427] считает, что обратная вертикальная зональность характерна для месторождений молибдено-золотой рудной формации. Она устанавливается на основании выявления более высокотемпературных руд ранних стадий минерализации на верхних горизонтах жил, а менее высокотемпературных минеральных ассоциаций, накладывающихся на первые, — на нижних горизонтах тех же рудных тел.

Сравнительное изучение околорудных изменений в молибденовых месторождениях различных формаций показывает, что с разными стадиями минерализации связаны разные типы измененных пород. Так, например, грейзенизация не характерна для молибденовых месторождений молибдено-золотой рудной формации, хотя проявляется в них в связи с образованием вы-

сокотемпературных руд первых стадий. Серицитизация, сопровождаемая окварцеванием и пиритизацией, является ведущим процессом изменения пород в месторождениях этой группы, при подчиненном значении более поздних процессов карбонатизации и аргиллизации вмещающих пород.

В кварц-молибденитовых месторождениях редкометального рудного комплекса, которые имеют простой минеральный состав и формируются обычно в одну стадию минерализации, околорудные изменения выражены главным образом в грейзенизации вмещающих пород.

Таким образом, сравнительное изучение стадий минерализации и связанных с ними процессов (зональность, околорудные изменения и др.) в различных молибденовых месторождениях позволяет выявить главнейшие отличительные их особенности, являющиеся надежными диагностическими признаками для месторождений различных рудных формаций.

3. Сравнительное изучение вольфрамовых месторождений Забайкалья в процессе проводившихся металлогенических исследований этого региона также позволило выявить ряд характерных особенностей вольфрамовых месторождений различных рудных формаций. Большое значение для установления таких диагностических признаков имело изучение стадий минерализации.

Для группы вольфрамовых месторождений, связанных с лейкократовыми, часто пегматоидными гранитами, характерно одностадийное, реже двухстадийное образование из высокотемпературных гидротермальных растворов. Этим месторождениям свойственны простые (массивные и вкрапленные) текстуры руд. Для них не характерны явления вертикальной зональности, и лишь в некоторых месторождениях наблюдается пространственная зональность, обусловленная локализацией кварц-вольфрамитовых жил в удалении от центральных частей материнских интрузий, а кварц-вольфрамитовых с касситеритом или только кварц-касситеритовых жил — в пределах последних. Околорудные изменения в рассматриваемых месторождениях представлены обычно интенсивно грейзенизированными нтрузивными породами. К месторождениям группы относятся Молодежное, Соктуевское, Харанорское, Ушмунское, Березовское, Барун-Ундурское и многие другие вольфрамовые месторождения Забайкалья.

Отмеченные выше особенности характерны для всех месторождений группы и могут служить их отличительными признаками при металлогенической классификации месторождений по рудным формациям [461].

Вторая группа (формация) вольфрамовых месторождений, наиболее интересная с практической точки зрения, генетически связана с трещинными послескладчатыми массивами гранитов

и гранит-порфиров, формирующимися в приповерхностных условиях.

Месторождения этой группы в отличие от вольфрамовых месторождений первой формации характеризуются многостадийностью образования. В рудах этих месторождений выделяется до семи стадий минерализации, последовательно сменяющих друг друга. Сульфидное оруденение, представленное сфалерит-галенитовыми рудами с халькопиритом и пиритом, обычно накладывается на кварц-вольфрамитовые руды.

Прожилковые и брекчиевые текстуры широко распространены в месторождениях данной формации, и их образование обусловлено сложными и повторными процессами раскрытия рудовмещающих полостей в сочетании с прерывистым поступлением качественно различных гидротермальных растворов.

Наряду с процессами грейзенизации в месторождениях группы широко развиты процессы серицитизации, окварцевания, карбонатизации вмещающих пород, связанные с образованием руд различных стадий.

Для месторождений группы характерно наличие обратной вертикальной зональности, обусловленной размещением более высокотемпературных руд первых стадий на верхних горизонтах жил, а низкотемпературных минеральных ассоциаций — на нижних уровнях [453].

Перечисленные характерные особенности месторождений второй группы являются одновременно и диагностическими признаками, позволяющими отличать их от месторождений первой группы. В Забайкалье к месторождениям второй группы относятся месторождения Куналей, Букука, Белуха, Антонова гора и др.

По генетическим особенностям эти месторождения во многом сходны с молибденовыми месторождениями молибдено-золотой рудной формации [205], для которых также характерно большое число стадий минерализации, полосчатые и брекчиевые текстуры руд, вертикальная зональность и т. д. Геологические особенности локализации вольфрамовых месторождений второй группы (формации) свидетельствуют об их образовании в сходных с последними тектоно-магматических условиях (связь с послескладчатыми трещинными интрузиями небольших глубин), что позволило выделить в Забайкалье эти месторождения в самостоятельную рудную формацию [461].

Перечисленные особенности вольфрамовых месторождений разных групп выявлены главным образом благодаря изучению стадий минерализации, сопоставлению и анализу полученного в процессе этой работы материала. В вольфрамовых месторождениях второй формации вопросы зональности рудных тел и особенности околорудных изменений были правильно поняты лишь после установления стадийного характера оруденения.

Последнее позволило расшифровать также текстурные особенности руд.

4. Наименее ясен вопрос о методах сравнительного изучения структур рудных полей месторождений разных рудных формаций. По-видимому, это изучение следует проводить обычными методами детального структурного картирования, принятыми при таких исследованиях. Однако при мелкомасштабных металлогенических исследованиях проведение специальных работ с целью изучения структур рудных полей того или иного месторождения не всегда целесообразно и необходимо. В этом случае приходится использовать уже имеющийся материал для сравнения структурных особенностей локализации рудных тел в различных месторождениях.

Такое сравнение вольфрамовых месторождений рассмотренных выше двух групп показало, что для месторождений первой группы наиболее характерна приуроченность рудных тел к первичным трещинам прототектоники в материнских интрузиях или к небольшим по размерам трещинам скола, развивающимся в осадочных породах экзоконтакта. Для месторождений второй группы типична приуроченность рудных тел к хорошо развитым сколовым трещинам, группирующимся обычно в протяженные, часто кулисообразные зоны; только в некоторых случаях рудные тела локализуются в хорошо развитых трещинах контракции древних массивов (Букука).

В ряде интересных работ Е. П. Малиновский [223, 224] раскрыл роль структурного фактора в образовании различных типов кварц-вольфрамитовых месторождений и показал, что месторождения разных вольфрамоносных формаций характеризуются неодинаковыми структурами рудных полей.

Е. П. Малиновский охарактеризовал в сравнительном порядке структурные особенности гидротермальных высокотемпературных и среднетемпературных кварц-вольфрамитовых месторождений, относящихся к разным формациям; он показал, что первые образуются в одну-две стадии минерализации в результате постепенного выполнения раскрывающихся трещин, имеющих максимальные размеры по падению около 200 м, а по простиранию 200—400 м. Это обычно трещины прототектоники, крайне редко трещины скалывания в эндоконтактах, реже в экзоконтактах рудоносного массива. Среднетемпературные вольфрамовые месторождения характеризуются приуроченностью рудных тел к трещинам скалывания древнего заложения, имеют в отличие от первых сложную морфологию, при протяженности жил по простиранию 1—2 км, а по падению до 800 м; жилы располагаются обычно в экзоконтакте рудоносных массивов, на значительном удалении от него и формируются в несколько стадий минерализации. Е. П. Малиновский [224] охарактеризовал структурно-геологические особенности вольфрамитовых месторождений четырех типов, которые являются по

существу представителями самостоятельных формаций. Эти особенности наглядно отражены в табл. 6, из которой видны различия в структурах месторождений, принадлежащих к разным рудным формациям.

Таким образом, сравнение структурных особенностей вольфрамовых месторождений разных рудных комплексов показывает, что они существенно отличаются и в некоторых случаях также могут служить диагностическими признаками месторождений различных формаций.

Выше было приведено несколько примеров, показывающих значение сравнительного изучения рудных месторождений при металлогенических исследованиях с целью выявления диагностических признаков месторождений различных формаций. Как отмечено, при таком сравнительном изучении можно использовать критерии, предложенные Ю. А. Билибиным [43] для установления глубинности рудных месторождений.

Однако следует иметь в виду, что эти критерии имеют гораздо большее значение. Они позволяют выявлять не только характерные особенности месторождений разных глубин, но и устанавливать отличительные признаки месторождений существенно различных рудных формаций (первый пример). При металлогеническом изучении гидротермальных главным образом редкометальных месторождений характерные особенности различных групп месторождений могут быть выявлены наиболее полно в первую очередь при сравнительном изучении стадий минерализации, а также установлении времени проявления и минерального состава каждой из них. В связи с этим при металлогеническом изучении рудных месторождений выявление особенностей оруденения методом сравнительного изучения стадий минерализации и процессов, сопровождающих образование руд разных стадий (зональность, расположение рудных тел, околорудные изменения, текстуры и т. д.), приобретает первостепенное значение.

Следует помнить, что установление одностадийного характера формирования некоторых месторождений имеет такое же значение для выявления их диагностических признаков, как и в случае месторождений, образующихся в несколько стадий (второй и третий примеры).

В настоящее время необходимость специального изучения месторождений при металлогенических исследованиях не только очевидна, но и приобретает особое значение. Если в предыдущие годы ставился вопрос только о необходимости сравнительного изучения рудных месторождений, то в настоящее время более правильно говорить о необходимости формационного анализа рудных месторождений, отнесении рудных образований конкретных регионов к определенным формациям, т. е. выяснении их формационной принадлежности с выявлением характерных черт каждой формации.

ТАБЛИЦА 6

Структурно-геологические особенности вольфрамитовых месторождений.

Типы месторождений	Вещественный состав, внутреннее строение и текстуры. Характерные минералы-спутники	Рудовмещающие трещины и подвижки в их плоскости. Морфология рудных тел
I тип		
Собственно грейзеновые (пневматолитовые?) кварц-вольфрамитовые	Кварцевые и кварц-топазовые грейзены с вольфрамитом, маломощные кварц-вольфрамитовые прожилки. Текстуры массивные, прожилковые. Молибденит и др.	Грейзеновые залежи вдоль трещин отдельности; подвижки отсутствуют или незначительны. Морфология рудных залежей разнообразна (жилы, трубы, штокверки и др.)
II тип		
Гидротермальные высокотемпературные кварц-вольфрамитовые	Жилы крупнокристаллического кварца с вольфрамитом; в зальбандах — кварц-мусковитовый грейзен. Турмалинизация. Текстуры массивные, гребенчатые. Висмутовые минералы, иногда молибден	Трещины отдельности, редко трещины скалывания; подвижки отсутствуют или незначительны. Простые жилы выдержанной мощности; штокверки
III тип		
Гидротермальные среднетемпературные кварц-вольфрамитовые	Кварц-вольфрамитовые жилы с сульфидами, сопровождаются березитизацией вмещающих пород. Текстуры полосчатые, массивные. Галенит, сфалерит и другие сульфиды	Трещины скалывания древнего заложения; многократные подвижки, часто с большими амплитудами перемещения. Морфология жил очень сложна (чередование раздувов и пережимов, частые апофизы)
IV тип		
Низкотемпературные ферберит-антимонитовые	Ферберит с кварцем, антимонитом. Боковые породы аргиллизированы, окварцованы, серицитизированы. Текстуры брекчиевые, полосчатые. Шеелит, теллуриды золота, гидрослюда	Трещины скалывания и зоны дробления, оперяющие крупные разломы. Непротяженные жилы, тела брекчий разнообразной формы

Длительность процесса рудообразования. Механизм формирования рудных тел	Размеры промышленных участков в жилах: а) по падению, б) по простиранию. Их положение относительно материнских гранитов	Общая характеристика тектонической обстановки на месторождении к моменту рудообразования
В одну стадию. Мощный инфильтрационный метасоматоз, одновременно выполнение небольших трещин	а) 50—100 м, б) до 700—1000 м. В эндоконтакте гранитного массива	Отсутствие крупных сколовых нарушений в самом интрузиве и в его кровле. Незначительное развитие даек интрузивных пород
В одну-две стадии. Выполнение постепенно раскрывающихся трещин. Относительно слабое развитие околожильного метасоматоза	а) около 200 м, б) 200—400 м. В эндо- и экзоконтакте гранитного массива	Крупные дизъюнктивные нарушения, дорудные и догранитные дайки различного состава. Рудные тела в крупных разрывных нарушениях не залегают
В несколько стадий (три и более). Выполнение полостей в изгибах разрывов, замещение рассланцованных пород	а) 300—700 м, б) при общей протяженности жил до 1—2 км, промышленно интересны отдельные интервалы. В экзоконтакте материнского интрузива и на значительном удалении от него	Большое число разновозрастных даек и крупных сколовых нарушений, часть которых сформировалась до внедрения рудоносных гранитов. Рудные жилы приурочены к крупным разрывам
В несколько стадий. Выполнение полостей, цементация брекчий	а) 50—100 м, б) порядка 100—200 м. На большом удалении от возможных магматических источников	Сложная структурная обстановка, наличие крупных разломов, малая глубина формирования. Иногда устанавливаются кислые субвулканические дайки

В этом отношении интересны работы Р. М. Константинова, посвященные изучению рядов рудных формаций. Эти исследования основаны на выявлении определенных зависимостей между особенностями минерального состава месторождений и различными геологическими факторами. Р. М. Константинов [161, 163] считает, что сравнительное изучение месторождений путем установления рядов рудных формаций открывает новые возможности для прогнозно-металлогенических работ. Он подразделяет методы, с помощью которых следует проводить изучение рудных образований для целей их формационного анализа, на две группы: собственно геологические и логико-информационные. Последние позволяют осуществить проверку статистической обоснованности взаимосвязей геологических факторов, установленных геологическими методами, дать количественную оценку степени сходства месторождений. Количественное определение сходства большого числа месторождений требует применения ЭВМ и специально разработанных программ.

В общем комплексе проблем, связанных с изучением рудных месторождений для целей металлогенических исследований, по-видимому, следует различать две тесно связанные, но совершенно самостоятельные группы вопросов. Первая группа относится к дальнейшему всестороннему изучению рудных месторождений, входящих в различные рудные формации. Эти задачи должны решаться обычным путем комплексного изучения рудных месторождений (в первую очередь — главнейших представителей разных комплексов), с последующим обобщением полученного материала и сопоставлением результатов исследований по отдельным группам месторождений. Разрешение этих вопросов в первую очередь зависит от расширения наших знаний о природе рудных месторождений процессе их изучения большим коллективом советских геологов.

Вторая группа вопросов непосредственно связана со специальным сравнительным изучением месторождений, которое необходимо проводить при региональных металлогенических исследованиях (составление металлогенических и прогнозных карт, разрешение вопросов металлогении отдельных элементов в пределах больших регионов) с целью выявления характерных особенностей месторождений разных рудных формаций — главнейших отличительных признаков. Только такое изучение металлоносных регионов, по-видимому, следует называть собственно металлогеническим, отличая его от изучения рудных месторождений обычными методами.

Опыт специального изучения месторождений Прибайкалья и Забайкалья при региональных металлогенических исследованиях показывает, что для гидротермальных месторождений, главным образом редких металлов, основное значение имеет сравнительное изучение рудных месторождений путем сопоставления стадий минерализации и связанных с ними процессов.

Это позволяет наиболее объективно выявить главные отличительные признаки рудных месторождений разных формаций.

Вопросы сравнительного изучения рудных месторождений еще достаточно не исследованы. Методика их разрешения только намечается. В связи с этим главная цель данного раздела — еще раз обратить внимание на необходимость специального сравнительного изучения рудных месторождений при металлогенических исследованиях. Такое изучение рудных месторождений при подобного рода работе в настоящее время следует считать обязательным, так как нельзя относить месторождения к той или иной рудной формации только на основании их минерального состава или связи месторождений со сходными типами интрузивных пород, не исследуя специально сами рудные образования.

Следует всегда иметь в виду, что в генетических особенностях самих месторождений отражаются и более крупные закономерности, прежде всего геологические условия их образования. В ряде случаев минеральный состав руд и особенности их строения являются надежными индикаторами специфических тектонических условий формирования месторождений [458, 460]. Поэтому при региональном металлогеническом анализе изучение рудных концентраций имеет очень важное значение, оно открывает новые возможности для более объективного познания взаимосвязей геологических явлений.

ГЛАВА 7

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Последнее десятилетие ознаменовалось крупными достижениями в области геохимических исследований, особенно значительными в области геохимиии отдельных элементов, их миграции и концентрации в земной коре, а также в области разработки и практического применения геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых. Большой вклад сделан советскими учеными, успешно развивающими идеи основоположника геохимической науки В. И. Вернадского, видевшего в геохимии синтезирующую науку, которая с физико-химических позиций позволит понять сущность процессов переноса и концентрации элементов, ведущих к образованию месторождений.

Как справедливо отмечал А. А. Беус [38], быстрое и успешное развитие геохимических исследований стало возможным в результате создания новой аналитической и экспериментальной техники и широкого внедрения в геохимию математических методов обработки геохимической информации. Современные геохимические исследования охватывают широкий круг проб-

лем и вопросов, затрагивающих практически все направления геологической науки. Эта многоплановость геохимических исследований нашла отражение и в докладах последнего Международного геохимического конгресса (Москва, 1971 г.), охвативших практически все вопросы геохимии — от планетарных проблем до частных вопросов поведения отдельных элементов.

В последние годы в СССР, а также за рубежом значительно усилился интерес к проведению геохимических исследований для целей поисковых работ [39]. В этом направлении известны интересные разносторонние исследования от крупных, широких обобщений до локальных вопросов, таких, например, как исследование содержания меди и цинка в печени форели при выявлении благоприятных площадей для проведения проспекторских поисков [397, с. 9] и др.

В то же время анализ исследований, посвященных вопросам геохимии, показывает, что среди них более чем скромное место занимают работы по геохимическим особенностям конкретных регионов, посвященные закономерностям распределения во времени и в пространстве определенных парагенетических ассоциаций химических элементов и отдельных элементов в различных геологических формациях. Еще крайне мало сделано для изучения геохимии отдельных крупных рудоносных территорий (провинций, районов и зон), не разработана методика геохимических исследований площадей такого масштаба. Иначе говоря: вопросы региональной геохимии, геохимических исследований, призванные изучать особенности проявления химических элементов в различных крупных рудоносных структурах, находятся еще в стадии становления. Совершенно очевидно, что такие исследования крайне необходимы для металлогенического анализа и прогноза.

В. В. Иванов [122] в обзоре геохимических исследований в СССР подчеркнул необходимость всемерного развития регионально-геохимических работ с целью получения геохимических характеристик отдельных крупных структур земной коры, а также выявления региональной геохимической зональности, что имеет первостепенное значение при прогнозе, поисках и оценке месторождений полезных ископаемых. Он отметил необходимость перехода на геохимической основе к количественным прогнозам вероятности концентрации полезных ископаемых в различных типах рудных месторождений и металлогенических провинций.

Для этих целей В. В. Иванов считает необходимым произвести статистическую обработку всего аналитического материала и пополнить существующую систему кларков новыми величинами (для главных естественных типов рудных месторождений и для главных минералов из этих же типов месторождений).

Еще А. Е. Ферсман [405, 407] важнейшей задачей геохимических исследований считал изучение конкретных геохимиче-

ских провинций, под которыми он понимал «...области, геохимически однородные и характеризующиеся определенными ассоциациями химических элементов». По его мнению, при изучении геохимических провинций в первую очередь должны быть решены следующие вопросы: а) качественная и количественная оценка распространения, относительная роль и формы концентрации каждого химического элемента; б) установление связи между отдельными химическими элементами и горными породами определенных петрографических типов; в) установление связи между элементами и определенными геологическими эпохами.

К сожалению, в направлении региональных геохимических исследований, основанных прежде всего, по нашему мнению, на составлении региональных геохимических карт, до настоящего времени не достигнуто значительных успехов; работы, посвященные этим вопросам, все еще единичны. Среди них выделяется исследование В. В. Иванова и Г. М. Мейтува [123], в котором сделана попытка использовать материалы региональной геохимии для выявления общих закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре. Эти исследователи проанализировали материал по рудоносности и геохимическим особенностям разновозрастных складчатых областей, платформ и зон активизации Советского Союза и некоторых зарубежных стран. При этом установлено, что во всех случаях рудные концентрации литофильных элементов (лития, рубидия, цезия, бериллия, тантала, вольфрама, олова и др.) приурочены к участкам, развивающимся по типу поднятий, тогда как рудные компоненты, относимые к элементам сидерофильной группы (никель, кобальт, платиновые металлы, титан, хром и др.), — к опущенным блокам. Халькофильные элементы (свинец, медь, цинк, серебро, молибден, золото, сурьма и др.) проявляются в промышленных концентрациях, с одной стороны, в погруженных блоках, а с другой — в краевых частях поднятых структур. По мнению В. В. Иванова и Г. М. Мейтува, при сравнении различных регионов, характеризующихся большим разнообразием типов минерализации и наборов рудных компонентов, целесообразно пользоваться укрупненной систематикой типов месторождений, построенной на геохимической основе, выделяя литофильные, литофильно-халькофильные, халькофильные и другие группы месторождений.

В. В. Иванов и Г. М. Мейтув при прогнозе новых рудных районов с помощью разработанного ими геолого-геохимического метода различают три этапа исследований: а) выяснение общих закономерностей размещения геохимических концентраций различных металлов, типов их месторождений и магматических образований; б) установление рудоконтролирующих факторов и мест локализации рудных районов; в) прогнозная оценка территории с выявлением новых рудных районов.

Важную роль при таких исследованиях приобретают методы математической статистики, применяемые для обработки геохимической информации, в том числе данных металлометрических работ.

Значительные успехи в последние годы достигнуты в области региональной геохимии урана, позволяющие эффективно использовать эти данные для металлогенического прогнозирования и поисков [5]. Известен положительный опыт изучения распределения радиоактивных элементов в горных породах с целью поисков месторождений нерадиоактивного сырья. Успешно разрабатываются вопросы радиогеологического районирования с выделением на территории СССР существенно урановых и существенно ториевых провинций и эпох. Изучение региональной геохимии урана древних комплексов в некоторых регионах страны способствовало выявлению эндогенных месторождений урана и определению областей сноса этого элемента.

Интересный опыт региональных геохимических исследований для выявления металлогенических провинций был осуществлен в Замбии [478], где была проведена региональная геохимическая рекогносцировочная съемка, основанная на изучении донных осадков. В этой стране на площади 32 000 км² было проведено опробование донных осадков с плотностью одна проба на 125—250 км². Обработка результатов опробования методами анализа скользящих средних и факторного анализа позволила выявить четкие геохимические ореолы, соответствующие главным металлогеническим зонам. Сходные исследования были выполнены геологами Канады, которые провели в ряде районов страны геохимическую региональную съемку с плотностью опробования 1—5 проб на 2,5 км². Результаты таких геохимических исследований открыли возможность для выявления крупных поясов с рудной минерализацией в новых районах.

Региональные геохимические исследования были проведены в Бразилии Э. Ф. Суджинским [380], который при составлении металлогенической карты проанализировал геохимические черты Бразильской платформы, установив характерные геохимические ассоциации элементов, присущие основным разновозрастным группам геологических образований.

Вопросы региональной геохимии в связи с широкими металлогеническими построениями рассматриваются в работах М. И. Ициксона [130, 133]. Им показаны особенности распределения химических элементов в рудных поясах приохотского и восточноазиатского типов. В последнее время интересный опыт регионального геохимического изучения крупного региона предпринят исследователями Узбекистана[1].

---

[1] Земная кора Узбекистана. Отв. редактор И. Х. Хамрабаев. Ташкент, Изд-во «Фан», 1974, 288 с.

Некоторые аспекты изучения региональной геохимии в связи с металлогеническими исследованиями рассмотрены в статье П. Лаффита, Ф. Перменже и П. Рутье [209], отметивших недостаточное привлечение геохимических данных при металлогеническом анализе и необходимость выявления и изучения региональных металлогенических металлотектов для целей составления качественно новых металлогенических карт, «... которые гораздо лучше выразят законы распределения, чем могут это выявить современные карты».

Л. Н. Овчинников [269] на основании обобщения геохимической информации доказывает, что суммарные запасы химических элементов мира, континента, большой страны, региона имеют прямую зависимость от средних их содержаний в земной коре.

А. Д. Канищев и Г. И. Менакер [145], проанализировав данные о химическом строении земной коры Центрального и Восточного Забайкалья, подсчитали суммарный объем различных промышленных и непромышленных руд, заключенных в месторождениях и рудопроявлениях. Они установили, что блоки с наиболее мощной гранитно-осадочной оболочкой (до 7 км) имеют самую высокую суммарную интенсивность оруденения и весьма высокую для олова, вольфрама и фтора. В блоках с гранитно-осадочной оболочкой мощностью до 4 км резко возрастает интенсивность оруденения молибдена, а максимальная интенсивность оруденения свинца, цинка и золота наблюдается в блоках с выходами диорито-метаморфической облочки. Там, где гранитно-осадочная оболочка перекрывает диорито-метаморфическую, устанавливается совмещенное оруденение олова, вольфрама, свинца, цинка и золота с преобладанием последних трех элементов.

Совершенствование геохимических методов прогноза рудоносных площадей и обобщение геохимической информации при металлогенических исследованиях в последние годы нашли отражение в работе коллектива сотрудников ИМГРЭ [304].

На примере интереснейшей металлогенической провинции Забайкалья ими были разработаны основные принципы геолого-геохимического прогнозирования и металлогенического анализа рудоносных регионов. Важной особенностью этих работ является систематизация данных и их статистическая обработка с помощью ЭВМ по многочисленным металлометрическим аномалиям, что позволяет более глубоко проанализировать закономерности проявления разнотипного оруденения в различных структурах.

Значительным вкладом в совершенствование методов металлогенического анализа на основе использования геохимической информации являются исследования коллектива сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского геологического ин-

ститута (ВСЕГЕИ) под руководством А. А. Смыслова [80], которым составлена серия геохимических карт различных масштабов на отдельные элементы по многим регионам и разработаны принципы геохимического районирования щитов для целей металлогенического анализа и прогноза месторождений.

Теоретической основой составления таких карт служит принцип тесной взаимосвязи и взаимообусловленности формирования геохимического фона элементов в горных породах и процессов рудообразования, являющихся частным случаем проявления миграции рудных элементов, которая в благоприятных условиях приводит к их существенной концентрации. Составленные по этому принципу геохимические карты позволили выявить закономерности пространственного распределения элементов в конкретных структурах, произвести их геохимическое районирование и выделить различного рода геохимические аномалии и зоны для целей металлогенического районирования и прогноза.

Приложение указанных принципов геохимического районирования выполнено на примере Балтийского щита, где для литофильных и сидерофильных элементов установлены слабодифференцированные, дифференцированные и высокодифференцированные на эти элементы провинции и районы.

Аномальные геохимические поля с резко неоднородным распределением рудных элементов могут рассматриваться как зоны нарушения первично конституционного распределения металлов. Главнейшими признаками таких геохимических зон, часто совпадающими с металлогеническими или позволяющими наметить последние, являются следующие (80, с. 300): а) наличие повышенных и аномальных содержаний элементов в горных породах; б) резкое увеличение для большинства элементов степени неоднородности их распределения, отраженное в увеличении коэффициентов вариации содержаний до 50—80% (и более) и иногда в изменении закона распределения; в) присутствие в породах ореолов повышенных содержаний элементов-спутников промышленной минерализации; ассоциации этих элементов могут изменяться в зависимости от характера эпигенетических преобразований пород и типа оруденения; г) широкое развитие гидротермально-метасоматических или измененных пород различных фаций глубинности и режима кислотности—щелочности рудоносных растворов, приводящее к нарушению нормального содержания и соотношения петрогенных элементов.

По мнению этих исследователей, геохимическое районирование складчатых областей по указанным принципам позволяет произвести анализ наиболее общих закономерностей распределения химических элементов в различных типах геологических структур, наметить главные эпохи концентраций рудных эле-

ментов и на этой основе более объективно производить выделение металлогенических провинций, зон и рудных районов.

Таким образом, на примере исследований двух научных коллективов видно, что в последние годы сделан серьезный шаг по пути получения и осмысливания широкой геохимической информации для целей металлогенического анализа и прогноза рудоносных площадей; геохимия более активно стала внедряться в металлогению, способствуя более объективному выявлению закономерностей размещения рудных концентраций.

Важным новым вопросом региональных геохимических исследований, тесно связанным с металлогеническим анализом рудоносных территорий, является прогноз новых типов рудных месторождений, не известных ранее. Здесь, по нашему мнению, особую роль должны сыграть в первую очередь геохимические методы, основанные на комплексном анализе нестандартных парагенезисов рудных элементов в различных геологических обстановках.

Создание методических основ составления региональных геохимических карт, разработка сложных вопросов выбора надежных элементов-индикаторов и определение фоновых содержаний главных элементов для определенных рудных провинций наряду с разработкой эффективного математического аппарата для анализа результатов геохимического опробования — все это задачи ближайших лет, решение которых позволит геохимические методы и данные региональных геохимических исследований «взять на вооружение» металлогенического анализа.

Следует особо остановиться на вопросах использования результатов литохимических (металлометрических) съемок при металлогенических исследованиях, рассматривая металлометрические съемки как составную, неотъемлемую часть геохимических исследований. В настоящее время металлометрическими съемками покрыта значительная часть рудных провинций и районов страны, и этот вид работ является непременным элементом при поисках полезных ископаемых. Всесторонний анализ материалов региональных металлометрических съемок чрезвычайно важен при металлогенических исследованиях. Этому посвящены публикации А. П. Соловова и др. [367, 368], в которых рассмотрены принципиальные вопросы методики обработки результатов литохимических съемок с помощью ЭВМ и предложены методы обобщения металлометрических данных, позволяющие характеризовать удельную рудоносность территорий при составлении мелкомасштабных геохимических карт. В этих работах на ряде примеров показано, что анализ результатов поисковых литохимических съемок и изучение геохимических спектров оруденения имеют важное значение для обоснования металлогенических прогнозов.

В настоящее время поисковыми литохимическими съемками охвачены значительные по площади рудоносные районы страны, поэтому необходимо всесторонне использовать эти материалы для целей металлогенического прогноза и получения общих региональных геохимических характеристик крупных регионов.

Разработка методики и создание комплексных геохимических карт крупных рудных районов и провинций в ближайшие годы должны стать неотъемлемой частью металлогенических работ, а вся геохимическая информация должна широко использоваться при металлогеническом анализе рудоносных регионов и особенно при выявлении новых типов рудных зон и месторождений.

Изучение геохимических особенностей крупных регионов должно открыть возможности для установления новых закономерностей концентрации полезных ископаемых в земной коре, способствовать объяснению причин их проявления, а также наметить пути привлечения геохимической информации для прогноза масштабов месторождений. В этом направлении возможности применения региональных геохимических закономерностей для металлогенических целей еще полностью не использованы. В то же время масштабы накопленной геохимической информации по конкретным рудным регионам уже достаточно велики. Ее использование требует серьезного научного подхода, выработки наиболее эффективных методик обработки этого материала с применением ЭВМ. Вся информация по геохимическим особенностям конкретных регионов и рудоносных структур должна быть не только использована, но и правильно интерпретирована с учетом провинциальных особенностей каждого конкретного района.

Такая работа позволит, по нашему мнению, вплотную подойти к решению задач, поставленных еще А. Е. Ферсманом, связанных с выделением и изучением на территории Советского Союза геохимических провинций. Выделение таких провинций, которые по масштабам и геохимическим характеристикам могут отличаться от металлогенических и петрографических провинций, должно способствовать выявлению новых закономерностей распространения в геологических формациях главных элементов-индикаторов оруденения, а также познанию новых геохимических связей элементов, анализ которых необходим для конкретного металлогенического прогноза, особенно прогноза новых типов оруденения. В этом случае региональная геохимия станет неотъемлемой частью металлогенических исследований, а использование геохимической информации при региональных металлогенических работах и прогнозе приобретет большой практический смысл.

ГЛАВА 8

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОФИЗИКА И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Региональный металлогенический анализ на современном этапе развития невозможно представить без комплексного подхода к изучению конкретных рудоносных территорий, всестороннего учета и осмысливания всей геологической информации, в том числе и данных геофизических работ как региональных, так и более детальных. В процессе этих работ решаются, как правило, задачи взаимосвязи особенностей геологического строения, тектонических структур, положения рудных зон, районов, провинций и т. д. конкретного региона с различного рода геофизическими аномалиями (неоднородностями).

В последние годы применение геофизических данных для целей металлогенических исследований широко вошло в практику советских геологов. В настоящее время ни одно крупное обобщение по закономерностям размещения месторождений в региональном плане уже не создается без учета материалов региональных геофизических работ.

Впервые на необходимость всестороннего анализа геофизических данных для целей металлогении, пожалуй, обратил внимание Б. А. Андреев [8]. Возможности применения геофизических методов для анализа закономерностей размещения структурно-металлогенических зон и металлогенических провинций изложены им в известной монографии, посвященной методам геофизических исследований при решении вопросов региональной геологии. В этой работе Б. А. Андреев [10] отчетливо показал имеющиеся соответствия между крупными структурными элементами геосинклинальных областей и платформ и контурами региональных гравитационных и магнитных аномалий. Региональные гравитационные аномалии в геосинклинальных областях во многих регионах отчетливо отражают особенности их глубинного строения. По мнению Б. А. Андреева, зоны отрицательных гравитационных аномалий соответствуют районам, испытавшим стадию глубокого геосинклинального погружения, а зоны положительных аномалий — районам устойчивого геоантиклинального режима. В этих разных зонах проявляется и различное оруденение. Так, например, на о-ве Ява к зонам с положительными гравитационными аномалиями приурочены месторождения меди и золота, а к зонам с отрицательными аномалиями — месторождения олова и вольфрама. Аналогичная закономерность отмечена и в рудных месторождениях Японии.

Большое значение для расшифровки металлогении региональных рудоносных структур имеют магнитные и гравитационные аномалии на платформах. Их изучение особенно важно

для характеристики рельефа поверхности кристаллического фундамента и выявления крупных перспективных металлогенических зон линейного типа.

Б. А. Андреев [9, 10] и А. П. Тарков [383] установили геофизические особенности районов сводовых поднятий, сопоставимых с областями автономной тектоно-магматической активизации. Вслед за И. В. Корешковым [175] они обратили внимание на то, что области активизации характеризуются интенсивными отрицательными гравитационными аномалиями. Это связано с особенностями глубинного строения земной коры и, в частности, с увеличенной мощностью базальтового слоя. Кроме того, эти области характеризуются повышенными тепловыми потоками и высокой сейсмичностью.

Примером крайне интересного и комплексного подхода к анализу геофизических данных для целей регионального, точнее планетарного, металлогенического анализа являются исследования М. И. Ициксона [130, 131, 133], который при металлогеническом анализе Тихоокеанского рудного кольца показал связь металлогенических провинций разных типов с крупными геотектоническими элементами и с особенностями строения земной коры. М. И. Ициксоном была широко и умело использована обширная геофизическая информация о глубинном строении коры и верхней мантии и показана приуроченность металлогенических зон разных типов к областям, отличающимся неодинаковыми значениями силы тяжести (рис. 8). Анализ размещения металлогенических зон Тихоокеанского рудного пояса с учетом их глубинного строения на основе геофизических данных позволил М. И. Ициксону [133] сделать вывод о множественности типов металлогенического развития и разных путях концентрации рудных элементов в зависимости от характера строения земной коры. Как известно, новая геофизическая информация о развитии дна океанов и приконтинентальных зон послужила толчком к созданию гипотезы тектоники плит.

Однако нас интересует использование геофизической информации прежде всего при металлогеническом анализе конкретных рудных провинций. В этом направлении в нашей стране достигнуты определенные успехи в таких крупных металлогенических провинциях, как Казахстан, Забайкалье, Средняя Азия и др.

Использование геофизической информации при металлогеническом анализе, прежде всего информации о глубинном строении анализируемых территорий и отдельных рудоносных структур, в настоящее время прочно вошло в практику металлогенических исследований [278, 279] и по существу вылилось в новое комплексное геолого-геофизическое направление анализа закономерностей размещения рудных месторождений в главнейших структурных элементах земной коры.

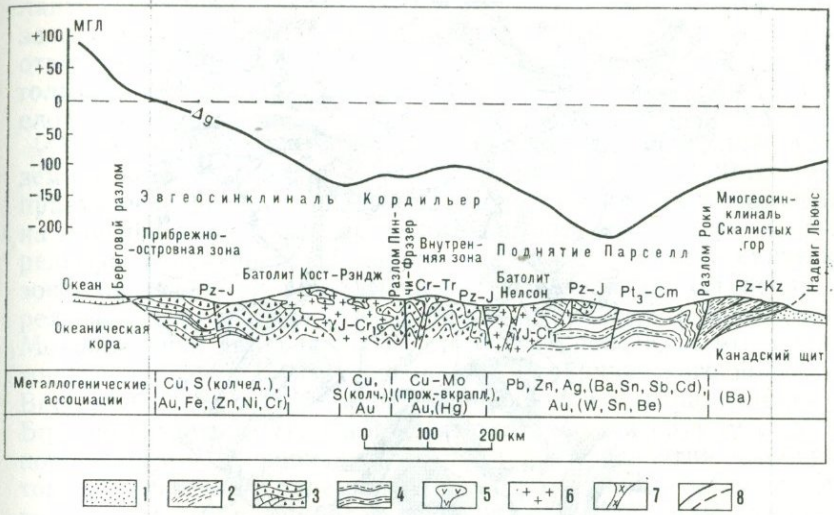


РИС. 8.
Схематический структурно-металлогенический профиль через складчатую область Кордильер (примерно 50—52° с. ш.). По М. И. Иициксону.

1 — осадочный чехол Северо-Американской платформы; *2* — миогеосинклинальные образования; *3* — осадочный комплекс перикратонного прогиба Парселл — Виндермир; *4* — эвгеосинклинальные образования; *5* — наземные вулканогенные образования; *6* — гранитоиды и ассоциирующие с ними продукты гранитизации; *7* — гипабиссальные и субвулканические интрузии позднемелового — третичного возраста; *8* — главные разрывы

Наиболее полно вопросы глубинного строения металлогенических провинций по геофизическим данным рассмотрены Н. А. Беляевским [30]. По его мнению, в большинстве из них определяющее влияние на распространение и состав рудной минерализации оказывают мощность и состав гранитного слоя и лишь для меньшей части — мощность и положение поверхности базальтового слоя; предполагается, что для некоторых провинций может оказаться важным соотношение мощностей базальтового и гранитного слоев (рис. 9).

Так, для Уральской металлогенической провинции характерна повышенная мощность базальтового слоя (38 км), а тонкий гранитный слой обладает аномально высокими скоростными характеристиками. Кавказская провинция при значительной мощности базальтового слоя имеет и мощный гранитный слой. Для так называемого сиалического типа металлогенических провинций (Забайкалье, Сихотэ-Алинь, Верхояно-Колымский регион) характерна несколько пониженная мощность коры по отношению к средней по СССР, при этом гранитный слой местами составляет большую часть разреза коры.

Н. А. Беляевским приведены общие характеристики строения земной коры в ряде металлогенических провинций Совет-



РИС. 9.
Схематическая карта структурно-металлогенических зон. Составлена Н. А. Беляевским [30] по данным А. И. Семенова, Ю. Г. Старицкого и Е. Т. Шаталова [335].

1 — зоны магматической, метасоматической и гидротермальной минерализации в фундаменте, сложенном разновозрастными складчатыми и кристаллическими комплексами пород; *2* — зоны минерализации, связанные с трапповой формацией; *3* — то же, связанные с кимберлитовой формацией; *4* — границы между зонами минерализации; *5* — изогипсы поверхности Мохоровичича, км

ского Союза и на основе анализа особенностей ее строения сделаны интересные выводы о том, что геосинклинальные зоны закладывались и развивались на континентальной коре и соответственно металлогенические провинции формировались только в пределах коры континентального типа; базальтовый слой при этом не подвергался радикальным изменениям.

Н. А. Беляевский [30] подчеркивает, что в настоящее время земная кора в пределах металлогенических зон и рудных узлов практически не изучена, однако имеющиеся данные указывают на определенную связь металлогенических зон с особенностями рельефа поверхности Мохоровичича, когда металлогенические зоны оказываются приуроченными к перепадам (ступеням) в рельефе этой поверхности. К таким перепадам в поверхности Мохоровичича приурочены золоторудный пояс Колымы, рудные зоны в пределах Притихоокеанского вулканического пояса на Востоке СССР, рудные зоны с колчеданной минерализацией на Большом Кавказе. На Сибирской платформе к крутым склонам поверхности Мохоровичича тяготеют зоны развития кимберлитовых трубок, на Урале зоны с месторождениями меди приурочены к участкам наиболее высоких значений силы тяжести, отвечающим полям широкого проявления основного магматизма, а металлогенические зоны с редкометальными месторождениями тяготеют к наиболее низким значениям аномальной силы тяжести, которые соответствуют участкам возрастания мощности гранитного и сокращения объема базальтового слоев.

Как отмечает Н. А. Беляевский, для металлогенических зон и рудных узлов главными являются не региональные, а локальные особенности строения земной коры, которые также изменчивы, как и непостоянны формы проявления эндогенного процесса, поскольку разным типам эндогенной рудной минерализации соответствуют локальные особенности строения коры. По Н. А. Беляевскому, главным рудоконтролирующим фактором являются разломы неглубокого заложения, не выходящие за пределы гранитного слоя. Иными словами, современные геофизические данные, в интерпретации Н. А. Беляевского, свидетельствуют о том, что процессы рудообразования, связанные как с развитием геосинклиналей, так и с магмо- и рудоконтролирующими разломами, протекают только в пределах гранитного слоя, не затрагивая при этом базальтовый слой и мантию. Этот вывод требует дальнейшей более полной аргументации и изучения; на наш взгляд, он односторонен и не учитывает большой и новый геологический материал, свидетельствующий о связях определенных типов эндогенного оруденения и рудоносных структур как с базальтовым слоем, так и мантийными участками тектоносферы. Об этом, в частности, говорит изучение металлогении срединных массивов [460] и некоторых типов эндогенного оруденения, среди которых флюоритовые месторождения занимают особое место.

Здесь следует отметить интересные работы Ф. С. Моисеенко и Н. П. Есикова [254], которые установили ряд важных зависимостей между размещением рудных месторождений и глубинным строением земной коры. Они отметили прогнозно-поисковое значение таких закономерностей и показали, что первостепенное значение для прогноза месторождений редких металлов, меди, свинца и цинка имеют расчленение и детальное картирование надбазальтовой части коры и особенно диоритового слоя, распределение масс которого выступает в качестве одного из важнейших признаков на указанные месторождения. Соотношение мощности надбазальтового отдела коры и мощности базальтового слоя позволяет очень четко отделять зоны полиметаллического и существенно скарнового молибденового оруденения от зон редкометальной минерализации, в том числе с молибденовыми месторождениями грейзенового и кварцево-жильного типов.

Значению геофизических методов при тектоническом и прогнозно-металлогеническом районировании рудных регионов СССР посвящено несколько интересных публикаций Всесоюзного научно-исследовательского института разведочной геофизики (ВИРГ). В этих публикациях на конкретных примерах рассмотрены вопросы глубинного строения рудных провинций и методика интерпретации региональных геофизических данных для целей металлогенического анализа [109, 389].

Г. А. Твалчрелидзе [389] подчеркивает, что региональные геофизические исследования имеют большое значение для установления металлогенической зональности рудных провинций. Это общее положение находит подтверждение в интересном исследовании В. С. Кузебного, Н. И. Стучевского, П. С. Ревякина и др. [187], показавших большое значение геофизических данных для структурно-формационного и металлогенического районирования Зайсанской геосинклинали. Этими исследованиями в пределах Юго-Западного Алтая были выделены зоны с различными типами земной коры (рис. 10), каждая из которых характеризовалась особым комплексом рудных месторождений.

Наиболее контрастно выделяются три типа земной коры: а) первый тип характеризуется поднятием базальтового слоя (25—38 км) и сокращенной мощностью гранитного (от 8—10 до 12—14 км); б) второй — сокращенной мощностью базальтового слоя (2х—26 км) и увеличенной мощностью гранитного (до 16—20 км); в) третий имеет мощность базальтового слоя от 24 до 42 км, а гранитного от 14 до 18 км. Для рудных зон (поясов) с развитием коры первого типа характерно медное и полиметаллическое оруденение; второго типа — оловянно-вольфрамовое и редкометальное; в зонах с земной корой третьего, переходного, типа образуются медно-пирротиновые, золоторудные и железорудные месторождения; в связи с зонами разло-

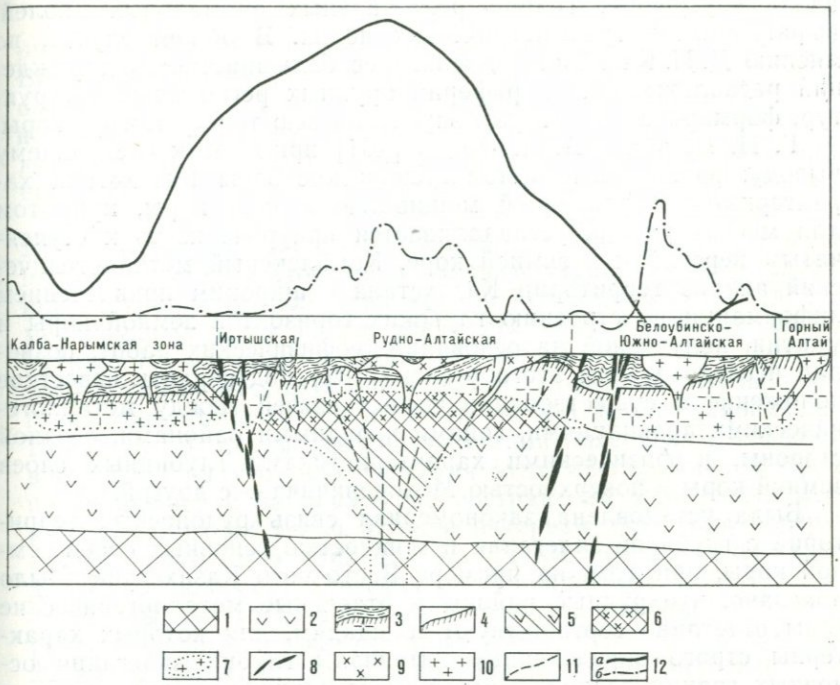


РИС. 10.
Особенности глубинного строения структурно-формационных зон Юго-Западного Алтая (принципиальный разрез). По В. С. Кузебному, Н. И. Стучевскому и др. [187].

Слои: *1* — подкоровый, *2* — базальтовый, *3* — гранитный с верхними консолидированными горизонтами земной коры; *4* — поверхность нижнего палеозоя; *5* — область размещения рудно-алтайского глубинного магматического очага (очаговой зоны); *6* — зона базальтификации гранитного слоя и зарождения умереннокислых магм рудно-алтайского типа; *7* — области интенсивной гранитизации и зарождения гранитных магм калбинского и горно-алтайского типа; *8* — габброидные пояса; *9* — гранитоиды; *10* — граниты; *11* — глубинные разломы; *12* — графики вертикальных составляющих гравитационного (*а*) и магнитного (*б*) полей

мов, уходящих в подкоровый слой, возникают рудопроявления хрома и никеля.

Большой вклад в познание закономерностей проявления рудных районов и металлогенических зон с учетом геофизической информации о глубинном строении земной коры внесли геологи Казахстана [82, 83, 463, 464]. Среди них прежде всего следует отметить работы Д. Н. Казанли [138, 139], показавшего, что рудные зоны с редкометальными месторождениями приурочены к внутренним краям флексур гравиметрических полей на периферии областей внутренних региональных аномалий. Наиболее интенсивное проявление редкометального оруденения совпадает с дифференцированными гравиметрическими полями региональных аномалий. Как установлено, редкометальные месторождения (W, Mo, Be) в ряде районов локализуются

вдоль внутренних границ региональных аномальных полей, выраженных в гравиметрических полях. В общем случае, по мнению Д. Н. Казанли, подавляющее большинство месторождений расположено на периферии крупных региональных структур, формирование которых захватило всю толщу земной коры.

Г. Н. Щерба и А. А. Попов [464] приходят к следующему выводу: разнотипные металлогенические зоны Казахстана характеризуются различной мощностью земной коры, при этом для многих из них устанавливается приуроченность к ступенчатым перегибам в земной коре. Комплексный металлогенический анализ территории Казахстана с широким привлечением информации по строению глубоких горизонтов земной коры и мантии, полученной на основании геофизических работ, позволил исследователям этого региона [82] подтвердить известное положение о существовании тесных связей между металлогеническими провинциями, зонами и рудными районами, с одной стороны, и физическими характеристиками глубинных слоев земной коры и поверхностью Мохоровичича — с другой.

Была установлена закономерная связь рудоносных территорий с глубиной залегания и мощностью основных слоев земной коры, при этом на примере Восточного Казахстана было показано, что рудные районы и отдельные металлогенические зоны отчетливо соответствуют площадям, для которых характерны строго определенные интервалы глубин залегания основных границ раздела земной коры. Однако следует иметь в виду, что указанные границы отражают современное положение глубоких горизонтов земной коры, а месторождения были сформированы в палеозое, когда положение границ было несомненно иное. Для Восточного Казахстана были установлены следующие закономерности [82, с. 485, 488]: «При общем интервале глубины залегания «диоритового» слоя 6—12 км полиметаллические рудные узлы почти полностью расположены на участках с глубиной залегания этого слоя до 10 км. Рудные узлы месторождений меди и редких металлов «рассеяны» на площадях, где «диоритовый» слой залегает на глубине 7—10 км, железорудных месторождений — на глубине 7—12 км, золоторудных месторождений — на глубине 10—12 км, за исключением Майкаинского, размещенного на участке, где глубина «диоритового» слоя 8 км, что, по нашему мнению, объясняется принадлежностью этого рудного узла к узлам полиметаллического типа.

Мощность «диоритового» слоя изменяется в пределах 3—15 км. Основная масса узлов полиметаллических месторождений развита в районах, где мощность этого слоя порядка 12 км. Три месторождения расположены в интервале мощности слоя 9—10 км. Все редкометальные месторождения в большинстве случаев развиты в районах, где мощность «диоритового» слоя 12—13 км; исключением является Верхне-Эспенский

рудный узел (мощность 3 км). Основные железорудные узлы Восточного Казахстана соответствуют мощности «диоритового» слоя 11—12 км. Золоторудные узлы характеризуются мощностью «диоритового» слоя 4—7 км, что является одним из критериев прогноза, тем более что золоторудные месторождения Казахстана связаны с интрузивами диоритового ряда.

Поверхность «базальтового» слоя залегает на уровне 10—22 км. Все месторождения связаны в основном с двумя интервалами залегания этого слоя. Первый характеризуется следующими глубинами залегания кровли «базальтового» слоя: для меднорудных узлов 13 км, редкометальных 13—14 км, железорудных 16 км, золоторудных 14—16 км. Интересно, что для золоторудных месторождений Алтая характерна глубина залегания «базальтового» слоя 14—15 км, а в других районах даже 16—18 км. В общем глубина залегания поверхности «базальтового» слоя на участках развития этих месторождений больше по сравнению с районами распространения эндогенных месторождений других типов. Второй интервал залегания поверхности «базальтового» слоя до 18—22 км (при максимальной дисперсии полиметаллических месторождений).

Медные месторождения приурочены к глубине 19—20 км, редкометальные и железорудные соответственно 19—22 и 21—22 км. В пределах второго интервала глубин залегания «базальтового» слоя имеются две группы районов. У месторождений верхней группы глубина залегания поверхности М достигает 45 км, у месторождений нижней группы — 50 км. В составе руд медных узлов первого интервала глубин до поверхности «базальтового» слоя (например, Акбастау) практически отсутствует молибден, который имеется в рудах узлов второго интервала (Коунрад, Саяк).

Мощность «базальтового» слоя в пределах описываемых площадей изменяется от 20 до 35 км. Отмечается значительная дисперсия месторождений, хотя и в относительно выдержанном диапазоне мощности (5—6 км). Это может свидетельствовать об избирательной приуроченности различных по составу месторождений к этой мощности «базальтового» слоя, что является важным прогнозным критерием. Полиметаллические рудные узлы развиты в районах с мощностью «базальтового» слоя 25—27 и 30—31 км, меднорудные — с мощностью 25—30 км. В районах развития редкометальных узлов Северного Прибалхашья мощности этого слоя 25—31 км, Алтая — 35 км. На участках развития золоторудных месторождений мощность «базальтового» слоя 31—35 км. По анализу глубины до поверхности Мохоровичича рудные узлы соответствуют горизонтам 45 и 48—52 км: известные полиметаллические месторождения — 45 и 50—51 км, медные — 45 и 48—50 км, редкометальные — 45, 48 и 50—52 км. Глубине 45 и 48 км отвечают существенно молибденовые месторождения, а 50—52 км — вольфрамовые. В райо-

нах распространения железорудных месторождений глубина залегания поверхности Мохоровичича 46 и 59—60 км, золоторудных 49—51 и 53 км.

Приведенные факты позволяют констатировать следующее. Промышленные узлы месторождений золота соответствуют глубине залегания поверхности Мохоровичича 49—53 км и поверхности Конрада 14—18 км, при малой мощности (4—8 км) «диоритового» слоя. Промышленные полиметаллические узлы характеризуются глубиной залегания поверхности Мохоровичича 45—50 км, глубиной до поверхности «диоритового» слоя 10 км при мощности последнего 12 км».

Опыт изучения закономерностей пространственного размещения рудных месторождений на основе глубинного строения земной коры в Забайкалье предпринят Г. И. Менакером [233]. Этим исследователем на основе объемной модели земной коры устанавливается региональная горизонтальная и вертикальная рудная зональность, подчиненная характеру расслоения верхних частей тектоносферы. В этом регионе выявлены отчетливые количественные связи между размещением рудных месторождений и аномалиями гравитационного и магнитного полей. Месторождения фемического типа (золото, свинец, цинк) оказываются связанными с положительными магнитными и гравитационными аномалиями, а сиалического типа (олово, вольфрам, молибден, редкие элементы) с отрицательными. Устанавливается, что 75% месторождений фемического профиля приурочено к блокам, для которых мощность земной коры минимальна (40—42 км), а 95% месторождений сиалического типа связано с районами, имеющими увеличенную мощность земной коры (42—48 км). Для локализации оруденения важное значение, по мнению Г. И. Менакера, имеет глубина залегания кровли диорит-метаморфического слоя, так как она обусловливает рудную специализацию отдельных блоков на уровне дневной поверхности.

На примере Забайкалья Э. Н. Лишневский [212] показал приуроченность высоких концентраций олова и вольфрама к локальным отрицательным аномалиям силы тяжести, рудопроявлений и месторождений молибдена, мышьяка и свинца — к аномалиям средней напряженности, а золота и сурьмы — к локальным максимумам аномальной силы тяжести. Для флюоритовых месторождений повсеместно характерна связь с отрицательными гравитационными аномалиями. Локальные магнитные аномалии характеризуют площади с месторождениями золота, свинца и молибдена, что связано с развитием в рудных полях даек основного состава.

Э. Н. Лишневский [213] предпринял попытку металлогенического районирования Сихотэ-Алиня по гравиметрическим данным, установив следующие общие закономерности в размещении месторождений в зависимости от характера геофизических

полей. Месторождения олова, вольфрама и молибдена располагаются в зонах с отрицательными остаточными аномалиями в полях средней и слабой напряженности. Рудопроявления золота распределяются в положительном и отрицательном полях малой и средней напряженности, а рудопроявления ртути локализуются в участках развития слабых знакопеременных полей. В зонах развития интенсивных отрицательных аномалий признаки ртутной минерализации не известны. Рассматривая общие вопросы региональной металлогенической зональности, Э. Н. Лишневский отмечает определенную связь между напряженностью и знаком остаточных аномалий силы тяжести и металлогенической специализацией крупных рудоносных структур и считает возможным на этой основе проводить металлогеническое районирование не только в мелком, но и крупных масштабах.

Интересные исследования по использованию геофизических данных для прогнозирования рудных зон на Балтийском щите провел И. В. Головин [89]. Он показал, что рудные зоны с месторождениями железных руд, меди, никеля и титана связаны с областями развития положительных аномалий магнитного поля и их краевыми зонами. Месторождения свинца, цинка и молибдена приурочены к положительным аномалиям силы тяжести, наблюдающимся на фоне отрицательных значений региональной составляющей магнитного поля. На основании изучения особенностей физических полей Балтийского щита и анализа размещения различной рудной минерализации в связи с ними была разработана методика выделения перспективных рудоносных площадей и показана возможность прогнозирования новых рудных районов на основе использования региональных геофизических данных в областях развития докембрия на территории древних щитов.

В. В. Чупров, М. Н. Столпнер и В. С. Антипов [432] показали взаимосвязь региональных гравитационных и сейсмических аномалий с положением зон тектоно-магматической активизации с наложенным ртутным оруденением. По данным этих исследователей, такие рудоносные структуры, как правило, характеризуются отрицательными значениями регионального гравитационного поля. По характеру аномалий в рудных районах зон активизации выделяются участки гравитационных ступеней и сравнительно широкие области переходного гравитационного поля. Гравитационные ступени фиксируются во всех ртутных районах Донбасса, Южного Тянь-Шаня, Горного Алтая и др. Они имеют отчетливо выраженный линейный характер и обладают высокой амплитудой. Гравитационные ступени сопровождаются локальными положительными аномалиями, как правило, согласными с простиранием структур района.

Для рудных месторождений зон тектоно-магматической активизации характерна приуроченность к областям относительно

повышенных значений регионального поля в непосредственной близости к зонам максимальных градиентов. При этом месторождения обнаруживают тесную связь с локальными положительными гравитационными аномалиями и поперечными структурами более высокого порядка, устанавливаемыми по нарушениям корреляции поля. Кроме того, ртутные рудные поля в областях активизации тяготеют к областям пониженных отрицательных (—100, —200 гамм) значений регионального магнитного поля (Донбасс, Кузнецкий Алатау, Горный Алтай и др.), к участкам знакопеременного поля, сопровождающегося локальными положительными и отрицательными аномалиями (Средняя Азия). Характерно, что последние наиболее интенсивны и во многих районах совпадают с тектоническими зонами в областях сочленения структур разного знака. Как правило, сами ртутные месторождения контролируются цепочками таких аномалий. Ртутные рудные районы в областях активизации выделяются некоторыми особенностями глубинного строения. Так, по данным ГСЗ на поверхности Мохоровичича и в вышележащих сейсмических границах устанавливаются крупные прогибы, при этом рудные зоны приурочены к их краевым (Средняя Азия) и центральным (Донбасс) частям. В ртутоносных районах, для которых характерны переходные гравитационные поля, по данным ГСЗ, выделяются крупные глубинные разломы, достигающие поверхности Мохоровичича, и наблюдается пологое положение сейсмических скоростных границ.

К сходным выводам пришли М. А. Карасик и Э. С. Порошин [150], подчеркнувшие необходимость проведения глубинных геофизических исследований для выявления закономерностей размещения ртутного и полиметаллического оруденения в Закарпатье. Как они показали, оруденение приурочено к поперечным разрывам, которые отчетливо фиксируются по результатам глубинного сейсмического зондирования.

По данным А. С. Барышева и Ю. И. Егорова [240], Прибайкальская и Восточно-Саянская зоны тектоно-магматической активизации, являющиеся одновременно и крупными рудными провинциями, характеризуются комплексными аномальными грави-магнитно-радиоактивными зонами, где уровень магнитного и радиоактивного полей относительно более высокий, чем в смежных зонах. Гравитационные поля в зонах активизации отчетливо понижены или характеризуются уровнями, переходными от повышенных к пониженным.

В зонах активизации устанавливаются различные типы геофизических аномалий, которые подчеркивают гетерогенность их строения и блоковую природу.

Использование особенностей глубинного строения земной коры для целей металлогенического анализа на примере Дальнего Востока предпринято В. В. Пурингом, Г. В. Дитмаром

и другими [307]. Ими показано, что месторождения золота тяготеют к блокам, наиболее дифференцированным по морфологии глубинных границ, со средней и повышенной мощностью земной коры. Месторождения кварц-касситеритового типа приурочены к участкам со значительной мощностью земной коры (40—42 км) и повышенными градиентами изменения мощности. Рудные зоны протерозойской тектоно-магматической активизации отчетливо фиксируются по геофизическим данным и в Карелии, где они совпадают с положением поднятий поверхностей Мохоровичича и Конрада, будучи приуроченными к склонам воздыманий этих поверхностей [468].

Э. Н. Лишневский и Л. Н. Овчинников [214] выполнили интересное исследование по «стереометаллогении» восточного фланга зоны БАМ, показав роль петрофизических и геохимических данных для целей выделения объемных блоков земной коры, характеризующихся специфическими особенностями металлогении.

В ряде работ Л. Н. Овчинников и др. [214, 272] поднимают вопросы создания объемных металлогенических моделей, для которых является обязательным построение объемных схем глубинного строения отдельных рудоносных территорий (блоков) на основе использования геолого-геофизической и геохимической информации.

Сопоставление особенностей глубинного строения конкретных территорий с характером рудных месторождений, развитых в их пределах, позволяет, естественно, более полно познать закономерности размещения месторождений в структурах земной коры и установить критерии связи оруденения с определенными геофизическими неоднородностями (полями), фиксируемыми в современном разрезе тектоносферы. Такой комплексный подход особенно важен для перспективной оценки новых площадей, в особенности в районах, где наземные поиски не привели к положительным результатам [272].

Большое значение в последнее время приобретает установление теплового режима крупных структурных элементов земной коры. Особенно важно это для выявления областей автономной тектоно-магматической активизации. Как известно, эти области характеризуются наиболее высокими и неоднородными тепловыми потоками и повышенными геотермическими градиентами [364, 383]. Устанавливаются также различные соотношения тепловых потоков в разновозрастных складчатых областях [364]. Пока еще недостаточно ясны возможности применения данных о величинах теплового и геотермического градиента для целей металлогенического анализа складчатых областей, платформ и срединных массивов, хотя можно предполагать, что изменение теплового режима земной коры от эволюционного кондуктивного накопления энергии до конвективной передачи тепла может быть показателем возникновения в земной

коре условий, наиболее благоприятных для формирования рудных месторождений.

Недавно сделаны интересные попытки применения палеомагнитных реконструкций для решения региональных металлогенических задач [324]. Так, например, было показано, что данные палеомагнитного изучения Кураминской зоны Тянь-Шаня свидетельствуют об отсутствии связи эпитермального оруденения с магматизмом. Это положение, доказываемое геологическими материалами, подчеркивается палеомагнитными данными о различном характере магнитных аномалий разновозрастных вулканических свит, с одной стороны, и комплексной рудной минерализации — с другой. Кроме того, палеомагнитный анализ может способствовать выявлению рудных блоков с определенным типом минерализации и прежде всего в пределах Средней Азии и Казахстана для рудных районов типа кураминского [324].

Выше приведены только некоторые примеры использования региональных геофизических материалов для целей металлогенического анализа различных территорий. Их можно было бы значительно пополнить сведениями по другим рудным провинциям Советского Союза, где применение геофизических данных при выделении рудоносных структур широко вошло в практику металлогенических исследований и прогнозных работ.

В последние годы советскими исследователями много сделано в области применения геофизических методов и геофизических данных для металлогенического анализа рудоносных провинций и районов, особенно когда эти работы основаны на составлении металлогенических и прогнозных карт. В этом плане использование геофизической информации отчетливо развивается в двух направлениях. Первое направление ставит задачей выявление связей между различными геофизическими неоднородностями (аномалиями) тектоносферы и размещением месторождений полезных ископаемых в верхних частях земной коры; на основе таких взаимосвязей определяются геофизические характеристики конкретных рудоносных структур и площадей развития определенных месторождений, что и используется затем для целей прогноза и установления дополнительных закономерностей размещения оруденения в геологических структурах различных порядков.

Второе направление связано с использованием геофизических данных при составлении структурно-формационной основы металлогенических и прогнозных карт, для более точного решения геологических задач при выделении структурно-формационных зон, установлении их границ, выявлении положения разрывных нарушений и т. д. [90]. Особо важное значение приобретает здесь установление с помощью геофизических данных блокового строения различных рудоносных территорий, определение характерных физических полей, тектонических блоков, специализированных на то или иное полезное ископаемое.

Таким образом, использование всей геофизической информации при металлогеническом анализе конкретных регионов и крупных рудных провинций в настоящее время строго обязательно. Глубокий, всесторонний анализ геофизической информации, основанный на учете данных по геологическому строению перспективных площадей, является важным элементом регионального металлогенического прогноза и должен способствовать более полному охвату всех факторов, влияющих на размещение месторождений, а следовательно, и на выявление главных закономерностей размещения оруденения, что, в свою очередь, должно способствовать локализации прогноза, определению границ локальных перспективных площадей и их геофизических характеристик.

Установление связей рудоносных структур разных порядков с различного рода геофизическими полями позволяет использовать эти закономерности для оценки потенциальных перспектив анализируемых регионов и делает металлогенический прогноз более совершенным и полным. Изучение особенностей глубинного строения регионов на основе геофизических данных может служить одним из критериев металлогенического районирования рудоносных площадей и играть важную вспомогательную роль при выявлении закономерностей размещения различных групп месторождений, рудных районов, зон и поясов.

Эти исследования не должны идти стандартными путями: геофизические критерии рудоносных площадей в различных районах могут быть неодинаковыми; следует также иметь в виду, что геофизические аномалии отражают только современное состояние физических полей, которые в разновозрастных рудных провинциях во время формирования месторождений, очевидно, были иными. Так это или иначе, но для целей регионального металлогенического анализа важно прежде всего знать современный характер физических полей главнейших типовых рудоносных структур; к сожалению, в этой области сделано еще мало. В дальнейшем, очевидно, станет возможным выявление палеогеофизических характеристик рудоносных структур, что, по-видимому, может сыграть важную роль в установлении эффективных геофизических критериев рудоносных площадей и применении геофизической информации для целей прогноза и металлогенического районирования.

ГЛАВА 9

РЕГИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ И КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На современном этапе развития геологических исследований и, в частности, региональных металлогенических работ встал вопрос о необходимости использования для целей металлогениче-

ского анализа обширной информации, получаемой при изучении земной поверхности из космоса. Имеющийся уже сейчас небольшой опыт использования космической информации у нас в стране и за рубежом для целей региональной металлогении и рудной геологии показывает, что намечаются определенные новые пути познания закономерностей размещения полезных ископаемых в структурах земной коры с учетом космических данных [78, 87, 280, 301, 525].

Для региональной металлогении и рудной геологии — это новое направление исследований, требующее разработки специфических методов и технических средств, которые в настоящее время находятся еще в начальной стадии создания. Тем не менее на современном этапе внедрения информации, получаемой из космоса, в металлогению и рудную геологию можно наметить определенные области, где применение этой информации может способствовать выявлению новых закономерностей и решению прикладных задач. Рассматривая возможность использования результатов космических исследований Земли для геологических целей, остановимся прежде всего на перспективах изучения космофотоматериалов, получаемых при съемках земной поверхности из космоса. Другие аспекты этой проблемы и, в частности, вопросы изучения геохимических и геофизических полей Земли с помощью пилотируемых космических аппаратов и непилотируемых спутников могут рассматриваться только в порядке постановки вопроса. За этими совершенно новыми направлениями изучения металлоносности недр Земли, на наш взгляд, большое будущее, оно несет возможность самых неожиданных открытий, и недалек тот час, когда с помощью космических аппаратов будет получена обширная информация по геохимической специализации нашей планеты, что несомненно будет важным шагом на пути применения результатов космических исследований непосредственно для выявления рудоносных площадей и выбора направлений поисковых работ. Сегодня, однако, главной задачей является более широкое использование космофотоматериалов в металлогении и рудной геологии, так как эти документы представляют собой принципиально новый вид информации, использование которой становится уже обязательным элементом анализа при изучении перспектив рудоносности той или иной территории.

Известно, что дешифрирование космофотоснимков позволило установить их некоторые характерные особенности. В первую очередь это относится к возможности получения на снимках обобщенных, генерализованных элементов (структур), которые не просматриваются на снимках ограниченных площадей, заснятых с небольших высот; кроме того на космофотоснимках часто просвечивают глубинные структуры, перекрытые различными комплексами пород. Эти две особенности космофотоснимков — генерализация и просвечивание — структур имеют

важное значение для геологического изучения земной поверхности и принадлежат только «космической информации».

Анализ известных автору материалов по дешифрированию космофотоматериалов показывает, что последние содержат и другую важную информацию, отражающую, по-видимому, главные черты строения земной поверхности. К таким главным, генеральным особенностям относятся, с одной стороны, крайне широкое развитие линейных разрывных нарушений различных масштабов, которые не фиксируются наземными наблюдениями, а с другой — не менее широкое развитие кольцевых, концентрических структур различного генезиса.

В настоящей главе мы попытаемся (не рассматривая причины указанных явлений) показать, какие вопросы металлогении и рудной геологии можно в настоящее время решать с использованием информации, получаемой при дешифрировании и анализе космических снимков земной поверхности.

В области региональной металлогении особое значение приобретает изучение на космических фотоснимках региональных разрывных нарушений, их классификация и последующее сопоставление полученного материала с тектоническими и металлогеническими картами с целью познания особенностей влияния разрывных нарушений на размещение месторождений. Важное значение при этом приобретают установление металлогенического значения трансрегиональных разрывных нарушений и выяснение их роли в проявлении рудных месторождений различных типов. Изучение разрывной тектоники с помощью космических снимков должно стать в настоящее время неотъемлемой частью исследований при составлении структурно-формационной основы для металлогенических и прогнозных карт всех масштабов.

Особое значение при этом должно иметь выделение блоковых структур и зон их сочленения с другими структурами. На космических снимках отчетливо фиксируются срединные массивы и обрамляющие их разрывные структуры; по-видимому, учитывая особенность просвечивания перекрытых структур, по данным космических съемок возможно выделение новых, более древних, чем поверхностные структуры, жестких блоков типа срединных масс. Это имеет важное значение для установления особенностей локализации оруденения в верхних структурных этажах над жесткими структурами разных масштабов. В особенности это необходимо в случае анализа металлогении вулканических поясов, где жесткие блоки субстрата играют заметную роль в локализации оруденения.

Использование космических снимков при составлении региональных металлогенических карт должно привести к выявлению новых закономерностей размещения месторождений. В настоящее время, пожалуй, наиболее четки направления по линии установления новых закономерностей локализации ору-

денения в связи с трансрегиональными разломами и блоковой тектоникой, в особенности с «просвечивающимися» перекрытыми блоками. Судя по космическим снимкам, особое место среди разрывных структур имеют крупные дугообразные, часто концентрические по форме разломы. Их природа в настоящее время полностью еще не ясна, так же как и их роль в локализации оруденения. Однако не замечать эти явления в настоящее время уже нельзя и их следует учитывать при металлогеническом анализе.

В общем случае при региональных металлогенических исследованиях мелкомасштабные космические снимки играют роль важного вспомогательного материала, без которого анализ закономерностей размещения месторождений является неполным. В то же время говорить о том, что в настоящее время с помощью космофотоснимков возможно открытие рудных месторождений, даже районов или провинций, пока преждевременно.

Отметим некоторые исследования по использованию космофотоматериалов для целей металлогенического анализа. Так, например, недавно В. В. Онихимовский [280] на примере Приморья показал металлогеническое значение линеаментов, овальных и кольцевых структур, установленных при дешифрировании космофотоснимков. Он отметил, что для прогноза новых рудоносных площадей весьма перспективны узлы и углы пересечения линеаментов, особенно северо-восточного и северо-западного направлений с овальными и кольцевыми структурами, а также приуроченность узлов пересечений к гравитационным ступеням и локальным аномалиям силы тяжести.

Для изучения региональных особенностей локализации оруденения в областях тектоно-магматической активизации Забайкалья И. Н. Томсоном и др. [236] были успешно использованы космофотоматериалы, дешифрирование которых также показало связь оруденения с региональными и локальными линейными разрывными и кольцевыми структурами и значение различных ассоциаций этих пар структур для металлогенического анализа.

За рубежом интересные исследования выполнены на Аляске [491, 516] и в Мексике [535]. В первом регионе на основе анализа космофотоснимков были выявлены не известные ранее зоны крупных, поперечных к складчатости разломов, контролирующих оруденение. П. Салас [535] показал связь рудных месторождений Мексики с линейными зонами разломов, выявленных с помощью космофотоснимков. Почти все минерализованные площади контролируются зонами нарушений, которые совпадают с геофизическими аномалиями. Наибольшие концентрации рудных месторождений возникают на пересечении разрывных зон различных направлений. Судя по прилагаемым к работе П. Саласа [535] космофотоснимкам, на терри-

рии Мексики развиты и кольцевые разломы, значение которых П. Саласом для локализации оруденения не учитывается, хотя на снимках отчетливо видно, что некоторые рудные районы располагаются на пересечении кольцевых и линейных зон разрывов.

Применение космических снимков при средне- и крупномасштабных металлогенических исследованиях в настоящее время осуществляется еще в ограниченных масштабах. Однако и в этих работах использование информации, получаемой при съемках земной поверхности из космоса, представляется весьма перспективным направлением. Прежде всего это относится к более детальному изучению разрывных нарушений, часто имеющих рудоконтролирующее значение. Здесь стоит задача не только выявления разломов различных порядков, их последующего изучения и классификации, но и задача дешифрирования геологических образований, «соприкасающихся» с ними. В первую очередь это связано с выявлением трещинных рудоносных интрузий, часто во многих регионах образующих цепочки интрузивных тел, как бы «нанизанных» на разломы. В особенности это важно при анализе областей тектоно-магматической активизации в условиях, когда разрывные нарушения являются главнейшими структурными элементами, определяющими развитие конкретных регионов, а в их пределах — отдельных блоков. А. Миккола и П. Вуорела [522] недавно показали тесную связь рудных месторождений с глубинными разломами разных типов. Большая часть этих рудоконтролирующих структур была выделена по космофотоснимкам в сочетании с анализом геофизических данных.

Учитывая особенности космофотоснимков и прежде всего возможность генерализации структурных элементов наряду с «эффектом просвечивания» геологических структур как разрывных, так и иного характера, следует предполагать важное значение этих особенностей для анализа геологического строения и металлогении платформенных областей Советского Союза. Не исключено, что дешифрирование космических снимков территории Сибирской платформы позволит выявить новые факторы контроля кимберлитовых трубок, а «эффект просвечивания» — определить положение трубок, перекрытых траповыми потоками. Использование космической информации для целей локального прогноза алмазоносных тел, с учетом еще полностью не раскрытых возможностей космофотосъемки, представляется в настоящее время интересным направлением использования материалов космических съемок для выбора направления поисковых работ на алмазы на платформах. Во всяком случае, дешифрирование космических снимков платформенных областей, всесторонний анализ этого материала должны привести к выявлению новых особенностей проявления разрывных дислокаций в пределах этих жестких мегаструк-

тур, а следовательно, и, возможно, иной интерпретации закономерностей размещения полезных ископаемых, проявление которых тесно связано с разрывной тектоникой.

На космических снимках юга Сибирской платформы в пределах Алданского щита привлекают внимание ранее неизвестные дугообразные, часто почти замкнутые в кольцо линии; системы тесно сближенных коротких линий — борозд; относительно прямые протяженные линеаменты или линеаментные зоны. Сочетание этих структур создает своеобразный тектонический узор. Анализ геологических и геофизических материалов показал, что дугообразные линии представляют собой, скорее всего, след выхода на поверхность фрагментов долгоживущих кольцевых разломов, контролирующих размещение разновозрастных метаморфических, осадочно-вулканогенных, осадочных и магматических комплексов и зон гидротермального метасоматоза и гранитизации. Линейно-полосчатые структуры («борозды») отождествляются с зонами мегакливажа, контролирующими пространственное размещение гранитов и полос гранитизированных пород и даек. Линеаменты и линеаментные зоны в большей части совпадают с крупными разломами.

Закономерное концентрическое размещение древнейших рудоносных формаций в сочетании с наложенными ослабленными зонами, являвшимися проводниками гидротермальных растворов, позволяет наметить возможные участки локализации месторождений рудных полезных ископаемых. Зарубежный опыт дешифрирования космических снимков щитов и платформ, в частности территории Западной Австралии, показывает, что на снимках отчетливо фиксируются поверхности выравнивания с бокситоносными корами выветривания, при этом материалы космических съемок активно используются для направления поисковых работ на бокситы.

Использование информации космических съемок представит особый интерес для выяснения особенностей локализации рудоносных горизонтов, к которым приурочены стратиформные месторождения, в первую очередь свинца, цинка и меди. В особенности это относится к новым районам, таким, например, как Якутия, Прибайкалье, Таджикистан, где использование наряду с материалами обычных аэрофотосъемок данных космофотосъемок позволит «генерализовать» выходы продуктивных толщ и проследить их на закрытых площадях.

Особое значение материалы космофотосъемок приобретают для расшифровки строения вулканических поясов. Это относится не только к огромным площадям Охотско-Чукотского и Приморского вулканических поясов, но и значительно меньшим по территории структурам. Например, в Средней Азии в районах Срединного Тянь-Шаня и Гиссара, представляющих собой только небольшую часть позднепалеозойских вулканических поясов, в результате дешифрирования космофотоснимков отчет-

ливо проявляются структуры палеокальдер, их сложность строения, обусловленная сочетанием вулканических палеопостроек разных типов с разрывными нарушениями, происходившими по концентрическим дуговым срывам (нарушениям).

В пределах вулканических поясов для целей металлогенического анализа и рудной геологии дешифрирование космофотоматериалов в первую очередь должно быть направлено на: а) обнаружение палеовулканов и расшифровку характерных для них структур; б) выявление и уточнение характера разрывных нарушений, классификацию разрывов по возрасту, длительности их развития и принадлежности к различным генетическим группам; в) установление на основе «эффекта просвечивания» жестких блоков (структур) основания вулканических поясов, перекрытых более молодыми вулканогенными образованиями. Конечно, все эти материалы должны анализироваться совместно с данными по рудоносности тех или иных площадей, имея целью выявление новых закономерностей размещения рудных месторождений.

В последнее время появились интересные публикации о применении космофотоснимков для целей дешифрирования вулкано-тектонических структур. Так, например, С. Е. Апрелков, Б. В. Ежов, Ю. И. Харченко [14] предприняли попытку расшифровать вулкано-тектонические структуры Камчатки с помощью космофотоснимков. Они показали, что при выделении вулканических структур наряду с целым рядом критериев их выделения «космический» критерий является одним из наиболее эффективных. С его помощью (при дешифрировании снимков) отчетливо устанавливаются границы вулкано-тектонических структур, определяемые по протяженным линейным и кольцевым разрывам. Они показали также возможность выделения по космическим данным «сквозькамчатских» нарушений, рассекающих в северо-западном направлении все структуры полуострова. Важно, что кольцевые вулкано-тектонические структуры первого порядка локализуются в блоках между северо-западными разломами. Блоковое строение Камчатки, приуроченность вулканических кольцевых структур к сетке пересекающихся разломов, сложность строения и многоэтапность формирования вулкано-тектонических структур с образованием разнотипных структур второго порядка — все это выявлено не только по геологическим данным, но в значительной степени и по материалам космофотосъемок. Несомненно, эту информацию необходимо учитывать при анализе особенностей проявления рудных процессов прежде всего для установления их связи с различными элементами кольцевых вулкано-тектонических структур различных порядков.

Важное значение имеет изучение космофотоматериалов по шельфовым зонам и районам приморских впадин, в особенности в Якутии, на Чукотке и Камчатке. В этих регионах исполь-

зование «эффекта просвечивания» геологических структур позволяет надеяться на выявление перекрытых молодыми осадками палеорусел древних рек, в пределах которых возможно выявление золотых и оловоносных россыпей. В этом плане представляет интерес изучение шельфа дальневосточных морей, где по космофотоснимкам, очевидно, будет возможно открытие продолжения русел современных рек в прибрежных морских акваториях. Не исключено, что в Приморье это приведет к открытию небольших «псевдоморских» россыпей в руслах современных рек, затопленных морем.

Одной из важных особенностей строения земной поверхности, которую удалось выявить (но не объяснить) при дешифрировании космических снимков, явилось открытие многочисленных кольцевых (круговых) структур. При анализе космических снимков поражает широкое развитие таких структур, причем в регионах, имеющих различное геологическое строение. Кольцевые (овальные, круговые) структуры имеют различные размеры, они группируются в системы и группы структур, в пределах которых выделяются структуры различных порядков. Во многих случаях крупные кольцевые структуры осложнены более мелкими, как бы «паразитирующими» круговыми структурами, располагающимися на обрамлении первых. Такие кольцевые структуры не всегда имеют строго округлую форму, для них часто характерны эллипсоидальные, вытянуто-овальные, иногда не полностью замкнутые формы.

Выявление столь широкого развития таких кольцевых структур на лике земной поверхности с помощью дешифрирования космофотоматериалов является одним из принципиально новых открытий, которое стало возможным только при изучении Земли из космоса. Что же это за структуры, в чем заключается их генетическая сущность, какова связь этих структур с процессами рудообразования, какое они могут иметь значение для практической геологии? Все эти вопросы требуют ответа, но сегодня еще не могут быть решены однозначно. Очевидно, понятие «кольцевые структуры» в настоящее время объединяет только геометрически сходную, выраженную в виде овалов или колец, группу геологических структур, для которых общим является только один элемент — их округлая конфигурация. Генетическая природа этих структур в каждом отдельном случае может быть различной и на современном уровне их изучения в ряде случаев еще не ясной.

Далеко не полное перечисление таких различных кольцевых или овальных структур показывает, насколько разные по генезису геологические структуры при дешифрировании космофотоснимков могут быть объединены в одну крупную группу кольцевых структур; к ним относится по крайней мере семь типов: а) куполовидные, округлые структуры гнейсовых толщ докембрия; б) соляные купола, в том числе «просвечивающиеся» под

более молодыми отложениями; в) округлые, овальные структуры осадочных комплексов (формаций) различного возраста, в том числе нефтегазоносные структуры; г) вулкано-тектонические структуры различного возраста со всем разнообразием палеокальдер и других вулканических построек, в том числе лавовые сооружения современных вулканов; д) взрывные метеоритные кратеры; е) кольцевые (округлые по форме) интрузии и кольцевые дайки; ж) различные по масштабам кольцевые и овальные разрывные нарушения. Возможна, конечно, и другая природа кольцевых структур. Однако указанные, по-видимому, наиболее часто распространены.

Среди них, как показывают результаты изучения космофотоматериалов, по-видимому, особое распространение имеют кольцевые, овальные разломы, которые не находили ранее достаточного отражения на геологических картах. По предварительным данным такие кольцевые разрывные нарушения во многих случаях не сопровождаются магматическими образованиями, которые залечивают эти разрывы. Последние обычно рассекают все геологические образования и, очевидно, являются в большинстве своем относительно молодыми нарушениями. Не исключено, что такие овальные, кольцевые нарушения возникают в результате интенсивных вертикальных (радиальных) ударов (взрывов?), направленных от центра нашей планеты к ее внешней оболочке. Кольцевые или овальные разломы в этом случае могут отражать горизонтальные срезы конусов разрушения (на различных их уровнях), возникающих в результате этих процессов.

Так или иначе, но в настоящее время несомненно, что кольцевые структуры различного генезиса развиты широко на поверхности нашей планеты; они требуют всестороннего изучения и классификации.

Для целей рудной геологии наибольший интерес представляют кольцевые вулкано-тектонические структуры и весь комплекс вопросов, связанный с их формированием, включая особенности развития субстрата вулканических построек и характера вулканоконтролирующих разрывных нарушений.

Выше рассматривались некоторые общие вопросы, связанные с изучением космофотоматериалов земной поверхности и возможностью интерпретации этих данных для целей металлогенического анализа. Вопрос касался главным образом перспектив дешифрирования космофотоснимков и получения необходимой информации для установления закономерностей размещения месторождений и выбора направления поисковых работ на рудные полезные ископаемые.

Другая не менее важная проблема, которая возникает в связи с перспективой изучения поверхности с помощью космических аппаратов, связана с открывающейся принципиально новой возможностью изучения из космоса геохимических и гео-

физических полей земной коры. Это изучение должно привести, очевидно, к выявлению определенных параметров уже известных рудоносных территорий — в первую очередь рудных провинций и районов — и наметить по аналогии главные критерии выделения новых подобных рудоносных площадей.

Осуществление многоспектральных съемок территории страны из космоса безусловно приведет к получению новой информации и совместно с наземными наблюдениями позволит, возможно, осуществить металлогеническое районирование на основе принципиально новых данных. Использование цветных космофотоснимков открывает новые возможности для выявления по фототонам зон измененных пород, площадных зон окисления и т. д. Опыт в этом направлении, связанный с открытием по фототонам рудоносных площадей, полученный на примере Пакистана [539], заслуживает пристального изучения. Известно также, что в золоторудной провинции Южной Невады (США) проводилось изучение цветных космофотоснимков, автоматически обработанных методом отношений, в результате чего были выявлены цветовые поля измененных пород, к которым приурочено золотое оруденение [501].

В настоящее время при имеющейся космической информации и планомерном поступлении новых данных открывается возможность составления региональных космофотогеологических карт с элементами прогноза на рудные полезные ископаемые. В первую очередь это относится ко всей территории Советского Союза, для которой наиболее целесообразно составление подобных карт в масштабе 1 : 5 000 000 или 1 : 2 500 000, а также для отдельных регионов Средней Азии, по которым в настоящее время уже имеются достаточно информативные космофотодокументы. Для этих регионов, по-видимому, целесообразно составление таких космофотометаллогенических карт в масштабе 1 : 1 500 000 и, возможно, 1 : 1 000 000. Составление этих карт потребует новой интерпретации, казалось бы, уже хорошо изученных данных, наметит новые пути анализа закономерностей размещения рудных месторождений с учетом данных космических исследований. По существу это будет знаменовать начало нового этапа в металлогенических исследованиях и изучении рудных месторождений.

В этой связи определенный интерес представляет попытка Д. Картера [487] использовать космофотоинформацию для составления металлогенической карты (скорее схемы — *А. Щ.*) центральной части Анд. На дешифрированную космофотооснову, на которой были показаны выявленные по космофотоснимкам линейные и концентрические структуры, нанесены площади развития месторождений определенных металлов, которые четко оформились в линейные пояса, часто совпадающие с площадями интенсивного развития разрывных нарушений, выявленных по космофотоснимкам.

Не исключено, что изучение рудоносных провинций и рудных районов непосредственно из космоса и с помощью космофотоматериалов откроет новые пути к познанию генезиса некоторых месторождений. В первую очередь это относится к рудным образованиям, для которых возможно предположить связь с метеоритами и взрывными метеоритными кратерами, или месторождениям, которые располагаются в пределах или вблизи последних. Здесь можно упомянуть своеобразную гипотезу о метеоритном происхождении известного медно-никелевого месторождения Сёдбери в Канаде, которое издавна традиционно считалось ликвационно-магматическим. Как известно, это месторождение связано с массивом габбро-диоритов, имеющим овальную форму. Считается, что рудоносная интрузия сформировалась на пересечении двух систем региональных разломов. Новая точка зрения предполагает образование рудоносных габбро-диоритов в связи с падением на землю крупного метеорита, раздробившего породы земной коры и открывшего пути для подъема основных магм.

В. И. Смирнов [348, 349], участвовавший в осмотре месторождения во время экскурсий XXIV сессии Международного геологического конгресса, отмечает, что демонстрация участникам экскурсий фактов, подтверждающих космическое образование структуры Сёдбери, производит сильное впечатление. К таким убедительным фактам в пользу метеоритного происхождения структуры Сёдбери, относятся: а) овальный характер структуры, сходный с лунными кратерами; б) наличие в породах субстрата характерных структур удара (взрыва) — конусных структур; в) развитие в окружающих породах специфических брекчий и трещиноватых пород, характерных для районов падения астероидов; д) наличие в минералах пород субстрата структур типа шокового метаморфизма, возникающих при атомных взрывах. Эта своеобразная точка зрения на генезис месторождения Сёдбери не лишена определенной привлекательности, несмотря на всю кажущуюся в настоящее время ее недостаточную аргументацию.

Изучение метеоритных кратеров на территории Советского Союза еще только начинается, сделаны первые обобщения [227, 228], показаны развитие таких структур и их характерные признаки. Несомненно, в дальнейшем при получении все большей и большей информации из космоса по особенностям строения земной поверхности круговые структуры древних метеоритных кратеров буду выявляться все чаще и чаще. И не исключено, что их изучение приведет нас к открытию новых месторождений полезных ископаемых, выявлению особенностей взаимосвязей между ударом и взрывом метеоритов и характером развития рудоносных магматических процессов в земной коре.

Наконец, следует отметить существование иных точек зрения: некоторые рудные месторождения и рудные провинции обязаны своим происхождением обильному выпадению рудного метеоритного вещества на земную поверхность в ранние стадии развития нашей планеты, что и послужило первопричиной их образования. Однако эти проблемы слишком далеки от рассматриваемой нами темы и весьма иллюзорны.

Использование космофотоматериалов является новой и весьма перспективной областью применения принципиально нового вида информации для целей более полного изучения геологического строения Земли. Важное значение приобретают всестороннее изучение этих материалов для целей металлогении и применение их для решения некоторых практических задач.

В настоящее время эта работа находится в стадии становления, однако уже сейчас видны новые аспекты изучения геологических явлений и намечаются те пути, которые должны привести к качественно новому решению некоторых проблем, связанных в первую очередь с познанием региональных закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре. Это относится прежде всего к изучению роли разрывных нарушений в локализации оруденения, расшифровке рудоконтролирующего значения кольцевых структур (различного генезиса), уточнению геологического строения вулканических поясов с выявлением роли жесткого субстрата в размещении оруденения, всестороннему использованию «эффектов генерализации и просвечивания» структур для целей установления новых закономерностей размещения оруденения и т. д.

Определяющее значение для успешного их решения имеют мастерство дешифрирования космофотоматериалов наряду с всесторонним анализом этих результатов при установлении закономерностей размещения рудных месторождений в различных структурах. Поэтому использование космофотоматериалов для целей металлогенического анализа и рудной геологии — это комплексная, совместная работа специалистов-геологов по дешифрированию космофотоматериалов и геологов-рудников, отлично знающих не только регион, но и владеющих научными методами выявления закономерностей размещения рудных месторождений. Важно в ближайшее время определить наиболее эффективные направления использования космической информации в конкретных рудоносных регионах, установить их «космические критерии» с целью использования последних для выявления по аналогии новых перспектив на открытие рудных месторождений и районов.

Внедрение космической информации в региональный металлогенический анализ и рудную геологию должно способствовать выявлению новых закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре и на этой основе — повышению эф-

фективности геологических исследований в деле открытия новых месторождений. Использование космической информации намечает возможность создания особой группы космофотометаллогенических карт, которые должны будут отразить закономерности размещения месторождений в связи с новыми структурными элементами, которые выявляются при дешифрировании космофотоснимков земной поверхности. Эти карты, очевидно, будут создаваться на новых принципах и представлениях о развитии земной коры и связях месторождений с новыми типами структур. Работы в этом направлении уже ведутся в нашей стране рядом научных коллективов.

ГЛАВА 10

ЭРОЗИОННЫЙ СРЕЗ И ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РУДОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Ю. А. Билибин [43, 47, 49], выделяя металлогенические факторы, управляющие распределением во времени и в пространстве магматогенных рудных месторождений, считал одним из важнейших факторов глубину эрозионного среза, которая сама по себе не влияет на характер рудных месторождений, но определяет, какие месторождения выведены на поверхность, какие еще находятся на глубине, а какие уже уничтожены эрозией. По его мнению, фактор глубинности и фактор глубины эрозионного среза являются синонимами при условии, что глубина эрозионного среза исчисляется от земной поверхности, существовавшей в момент образования определенной рудной формации. Ю. А. Билибиным была предложена определенная методика изучения фактора глубинности и глубины эрозионного среза, которая несколько отличалась для месторождений, связанных с батолитами и малыми интрузиями; при этом он подчеркивал важное значение в обоих случаях выявления элементов горизонтальной и вертикальной зональности.

Ю. А. Билибин [43] первый обратил особое внимание на необходимость изучения характера эрозионного среза для перспективной оценки территорий при их металлогеническом анализе. Однако в 50-е годы, когда представления Ю. А. Билибина разрабатывались многими научными коллективами, изучению эрозионного среза не уделялось должного внимания, и поэтому к настоящему времени этот вопрос освещен менее полно по сравнению с другими общими вопросами металлогенического анализа рудоносных территорий.

За последние десятилетия собран и обобщен огромный материал о зональности и глубинах образования рудных месторождений, для отдельных рудных районов установлены крите-

рии вертикальной и горизонтальной зональности месторождений разных формаций и т. д. Эти данные в совокупности содержат огромную информацию, позволяющую использовать ее для оценки эрозионного среза конкретных рудных полей и месторождений. Однако общей методики определения эрозионного среза как важного фактора для перспективной оценки рудоносных территорий еще не создано. Этот пробел не восполняют, к сожалению, многие интересные работы по зональности месторождений и, в частности, материалы последних лет [116, 302].

В то же время было бы неверно считать, что проблема изучения эрозионного среза вышла из поля зрения специалистов, занимающихся вопросами прогноза рудных месторождений. В этом отношении особое место занимают работы И. П. Кушнарева, в частности монография «Глубины образования эндогенных рудных месторождений» [204]. Это исследование интересно тем, что помимо обобщения большого материала по глубинам образования рудных месторождений в нем на примере Кураминской структурно-формационной зоны Средней Азии разработана методика составления карт эрозионного среза. По существу, в этой работе впервые в отечественной литературе всесторонне рассматривается роль эрозионного среза для перспективной оценки рудоносных территорий. И. П. Кушнарев отмечает: «...глубинам эрозии мы придаем такое же значение, как магматизму, типу геотектонического развития и структурным факторам (разломам, складкам и их сочетаниям)» [204, с. 78].

Методика, разработанная И. П. Кушнаревым, позволяет отражать глубины послерудной эрозии района в виде изогипс с закраской интервалов между ними по выбранной легенде, с показом глубоко эродированных интервалов более темными тонами, чем менее эродированных. Она позволяет реконструировать геоморфологический облик и положение поверхности, соответствующей времени рудообразования в современных координатах. Основа этой методики состоит во всестороннем анализе всей истории геологического развития конкретного региона и в составлении серии специализированных разрезов с показом на них положения так называемой нулевой поверхности. Под последней И. П. Кушнаревым понимается поверхность Земли, которая существовала в тот отрезок времени, когда формировалось то или иное геологическое образование. И. П. Кушнарев полагает, что, судя по имеющимся данным, этот отрезок времени невелик, и положение такой поверхности можно считать относительно стабильным. Данные о «нулевых» поверхностях, установленных на разрезах, путем комплекса методических приемов переносятся затем на топографическую карту, а интервалы между изогипсами эрозионных срезов закрашиваются с последующим нанесением геологической нагрузки (месторождений, их контролирующих факторов и т. д.).

По мнению И. П. Кушнарева, главным методом определения глубин формирования месторождений является геологический, второстепенное значение для решения этих вопросов имеют зональность руд и околорудных изменений, изменение состава изоморфных минералов и примесей в них и т. д. Исследования И. П. Кушнарева проводились в пределах детально изученного района, что, естественно, облегчало задачу, тем не менее ряд методических разработок этого исследования представляет значительный интерес и может быть использован в других регионах при их металлогеническом анализе.

В ряде работ Е. А. Радкевич [311, 314, 315] отмечает необходимость быстрейшей разработки критериев глубинности оруденения, что имеет принципиальное значение для оценки слабо эродированных рудоносных областей Тихоокеанского пояса. В этой связи Е. А. Радкевич подчеркивает важное значение для определения глубин эрозионного среза палеогеоморфологических реконструкций, методика которых начинает разрабатываться только в самое последнее время.

Среди признаков, позволяющих оценить глубину эрозионного среза, возможный вертикальный размах оруденения и вероятное продолжение промышленных руд на глубину, Е. А. Радкевич [214] выделяет следующие:

1) изменение морфологии рудных тел и структуры рудовмещающих трещин с глубиной (структурная зональность);

2) изменение характера предрудных и околорудных метасоматических пород (метасоматическая зональность);

3) изменение валового состава в содержании рудных элементов минеральных ассоциаций на различных горизонтах (зональность вещественного состава руд);

4) изменение физических и химических особенностей минералов с глубиной, отражающее смену условий рудообразования.

Большое значение для определения степени эрозионного среза отдельных рудных районов, исходя из анализа материалов по отдельным рудным полям, месторождениям и рудным телам, имеет выявленная в последние годы зональность первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений [97, 98]. Это связано с тем, что в строении первичных ореолов устанавливается зональность, обусловленная закономерными изменениями в пространстве различных характеристик ореолов.

В результате работ С. В. Григорьяна [97] намечен единый ряд зональности элементов-индикаторов. По отношению к абстрактному рудному телу он выглядит так: Ba—(Sb, As, Hg)—Cu—Cd—Ag—Pb—Zn—Au—Cu^{2+}—Bi—Ni—Co—Mo—U—Sn^{2+}—As^{2+}—Be—W — рудное тело. По мнению С. В. Григорьяна, зональность геохимических ореолов по сравнению с зональностью рудных тел более универсальна и контрастна.

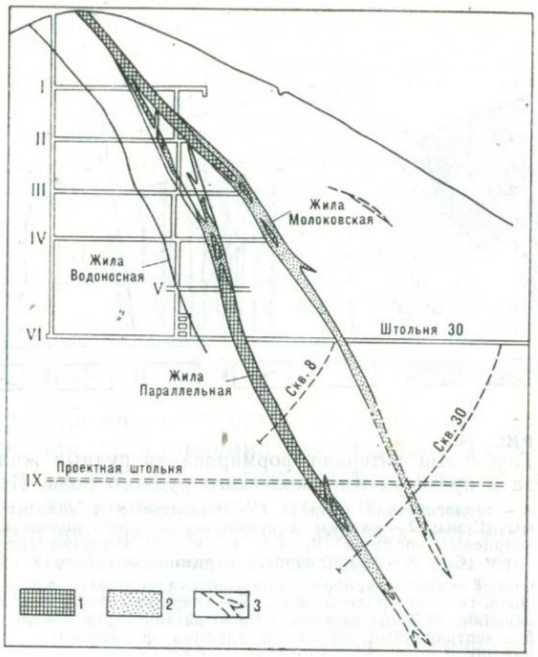
Изучение геохимических аномалий в аспекте установления глубины эрозионного среза включает решение двух задач: а) установление типа рудной минерализации, обусловившей данную аномалию, и б) определение уровня выявленной аномалии относительно оруденения. В том случае, если аномалия выявлена на поверхности, ее характер должен отражать предполагаемый уровень эрозионного среза. Особенно важно знать наборы надрудных и подрудных элементов, которые должны служить надежными индикаторами вертикальной зональности. В настоящее время изучение первичных геохимических ореолов рудных месторождений широко используется при поисках скрытых рудных тел, но при изучении характера эрозионного среза более крупных рудоносных площадей (рудных районов, зон, провинций) еще практически не применяется.

Большое значение для установления глубины эрозионного среза имеют выявление вертикального размаха оруденения, а также знание особенностей размещения в пределах этого интервала отдельных месторождений и рудных тел, которые во многих случаях характеризуются специфической вертикальной зональностью (рис. 11). Это положение может быть проиллюстрировано на примере некоторых флюоритовых месторождений Забайкалья, которые были изучены автором [455] в пределах Северного флюоритового пояса. Для этих месторождений доказывается, что в пределах вертикального интервала рудообразования отдельные месторождения и рудные тела могут располагаться кулисообразно, при этом месторождения характеризуются определенной вертикальной зональностью, позволяющей устанавливать верхние и нижние части рудных тел и на этом основании определять уровень их эрозионного среза (рис. 12 и 13).

Определенный интерес представляют своеобразные работы В. В. Богацкого [53, 54], доказывающего волновой характер распределения эндогенного оруденения в вертикальной плоскости и на этой основе определяющего региональную вертикальную протяженность оруденения. По мнению этого исследователя, региональная вертикальная протяженность промышленного эндогенного оруденения составляет 2—3 км, а вертикальная протяженность отдельных рудных полей достигает 1—1,5 км, причем интенсивность эндогенного оруденения волнообразно изменяется с глубиной с максимумами от 300—400 до 800—1200 м. К сожалению, эти выводы В. В. Богацкого не могут иметь универсального значения, так как не подтверждаются для всех типов эндогенных месторождений практикой геологоразведочных работ. Тем не менее применение В. В. Богацким пространственно-статистических методов (анализа) для установления вертикальной протяженности рудных тел, глубины их эрозионного среза, взаимосвязей между рельефом и промышленным оруденением заслуживает определенного внимания

РИС. 11.
Схема зонального распределения минеральных ассоциаций различных стадий в жилах Параллельной и Молоковской на участке Крутом Дубровского месторождения. Мощность жил дана вне масштаба. По И. Н. Кигаю

1 — кварц-касситеритовая ассоциация I стадии; *2* — кварц-хлорит-сульфидная ассоциация II и III стадий; *3* — кварц-карбонатная ассоциация IV стадии



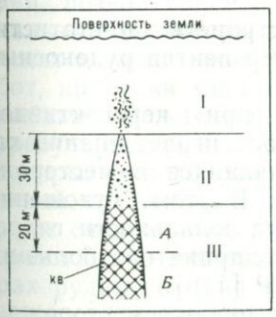




РИС. 12.
Схема строения кварц-флюоритовых жил.

I — зона каолинизированных пород с редкими прожилками халцедоновидного кварца; II — зона халцедоновидного кварца; III — флюоритовая зона; А — подзона неинтенсивного флюоритового оруденения (кварц с флюоритом); Б — подзона более интенсивного флюоритового оруденения (главным образом один флюорит); кв — гребенчатый кварц. Расстояние до поверхности земли показано вне масштаба

РИС. 13.
Предполагаемая схема размещения кварц-флюоритовых жил по вертикали.

Границы вертикального интервала рудообразования: I—I — верхняя; II—II — нижняя. Строение рудной жилы: *1* — верхняя зона халцедоновидного кварца; *2* — флюоритовая зона; 3 — нижняя зона халцедоновидного кварца

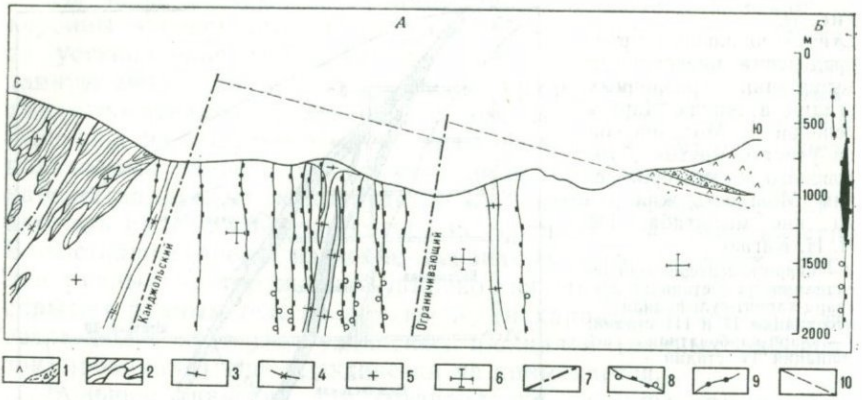


РИС. 14.
Глубинный интервал формирования рудных жил и степень эрозионного среза в пределах Канджольского рудного поля. По В. М. Турлычкину.

А — геологический разрез: *1* — андезитовые и андезит-дацитовые порфириты и их туфы (C_2ан); *2* — сланцы и песчаники нижнего палеозоя (O—S); *3* — фельзит-порфиры и кварцевые порфиры (P_2—T_1); *4* — малые интрузии гранодиорит-порфиров (P_2); *5* — граниты (C_3); *6* — гранодиориты кураминского батолита (C_{2-3}); *7* — герцинские нарушения; *8* — кварц-карбонат-пираргирит-галенитовые жилы, переходящие с глубиной в кварц-галенит-сфалеритовые; *9* — кварц-баритовые с галенитом жилы-индикаторы оруденения; *10* — поверхность, одновозрастная оруденению;
Б — вертикальный размах и глубина формирования жил-индикаторов (*9*) и оруденения (*8*)

прежде всего с позиций «внедрения» пространственно-статистического анализа в оценку региональных перспектив рудоносных территорий.

Для установления эрозионного среза при перспективной оценке рудоносных территорий важную роль играет знание характерных явлений зональности, проявляющихся в месторождениях определенных рудных формаций. В этом отношении особый интерес представляет исследование зональности гидротермальных рудных месторождений, предпринятое большим коллективом сотрудников ИГЕМ АН СССР [116].

Интересные материалы о зональности рудных месторождений и вертикальных интервалах их размещения приведены А. А. Малаховым [222], показавшим большое значение этих данных для определения глубин формирования месторождений и установления степени их эрозионного среза (рис. 14).

Для определения величины эрозионного среза месторождений, что является важной составной частью металлогенического анализа, следует использовать большой фактический материал по зональности разных типов рудных месторождений, содержащийся в ряде интересных обобщающих работ [147, 301, 305]. Естественно, применение указанных данных к конкретным регионам возможно, когда в последних уже выявлены

месторождения тех или иных типов. В некоторых случаях установление характерных признаков оруденения уже само по себе может свидетельствовать об определенной глубине эрозионного среза. Например, появление шеелита в золоторудных добатолитовых месторождениях указывает на то, что эрозией уже вскрываются нижние горизонты рудных тел, и в этом случае закономерно встает вопрос о возможности выявления россыпной золотоносности, конечно, в благоприятных геоморфологических условиях. Хотелось бы еще раз подчеркнуть: вопросы зональности оруденения тесно связаны с вопросами установления эрозионного среза, и эти, казалось бы, частные для регионального металлогенического анализа вопросы имеют важнейшее значение для прогноза оруденения, его характера и масштабов.

Выявление характера эрозионного среза рудоносных площадей возможно также при установлении вертикального размера протяженности рудных тел эндогенных месторождений с помощью определенных критериев оценки этого явления.

О критериях вертикальной протяженности рудных тел эндогенных месторождений. Установление вертикального размера рудных тел в эндогенных месторождениях имеет важное практическое значение, так как протяженность минерализации на глубину является одним из основных параметров, определяющих экономическую ценность рудных образований. Однако до настоящего времени все еще не разработаны надежные критерии, позволяющие хотя бы приближенно предсказать вертикальные параметры месторождений. Обычно такие данные становятся известными только после завершения разведочных работ, проходки многочисленных буровых скважин и горных выработок. Между тем решение практических задач настоятельно требует скорейшего выявления комплекса признаков, на основе которых можно еще на начальной стадии изучения месторождений предполагать их вертикальные размеры. К таким критериям следует отнести три группы признаков, анализ которых во взаимосвязи может дать ответ на вопрос о возможных размерах рудных тел на глубину и тем самым способствовать установлению эрозионного среза рудных образований.

К первой группе относятся признаки, позволяющие установить принадлежность выявленных минеральных образований (месторождений) к той или иной рудной формации и определить общие геолого-тектонические особенности проявления месторождений в общем ходе развития данного региона (геологические критерии).

Вторая группа признаков связана с определением характера благоприятных рудовмещающих тектонических структур, контролирующих размещение рудных тел: трещины прототектоники, скола, разрыва, надвига, зоны растяжения и т. д. (структурные критерии).

Третья группа признаков должна характеризовать особенности изменений в строении и минеральном составе рудных тел месторождений определенных формаций по вертикали (критерии зональности).

Если первая группа признаков позволяет дать общую оценку возможных вертикальных размеров рудных тел месторождений различных формаций, то вторая и третья группы признаков призваны определить приблизительные размеры минеральных образований уже в конкретных геологических условиях проявления каждого отдельно взятого месторождения. Следует иметь в виду, что выявление критериев для установления вертикального размера рудных тел тесно связано и с разрешением вопросов о поисках скрытого оруденения.

Геологические критерии. Изучение сходных по минеральному составу эндогенных месторождений, принадлежащих к различным рудным формациям, показывает, что вертикальные размеры рудных тел неодинаковы в месторождениях, формирующихся в разных геолого-тектонических условиях. В этом отношении показателен пример редкометальных (оловянных, вольфрамовых и молибденовых) месторождений, в которых вертикальные параметры рудных тел находятся в прямой зависимости от того, к какой рудной формации принадлежит данное месторождение.

Так, месторождения вольфрамит-кварцевой формации, возникающие в связи с кислыми гранитами в период главной фазы складчатости на месте наиболее глубоких геосинклинальных прогибов, характеризуются незначительными вертикальными размерами рудных тел. Обычно они прослеживаются по падению на 50—100 м (редко до 200 м). Такие рудные тела, как правило, приурочены к трещинам отдельности в гранитоидных массивах и реже к сколовым трещинам.

К вольфрамовым месторождениям этой формации близки по генетическим особенностям и параметрам рудных тел касситерит-кварцевые и молибденит-кварцевые месторождения, ассоциирующие с тем же комплексом гранитных интрузий. В отличие от этой группы рудных образований оловянные, вольфрамовые и молибденовые месторождения фомирующиеся в связи с трещинными, часто приповерхностными интрузиями, на поздних стадиях развития складчатых областей или в зонах автономной активизации консолидированных структур имеют обычно значительные размеры рудных тел, достигающие по вертикали 700—1000 и более метров. Например, в сходных по минеральному составу с месторождениями предыдущей группы оловорудных месторождениях Рудных гор минерализация прослежена по вертикали более чем на 300 м. В вольфрамовых месторождениях Забайкалья, связанных с трещинными приповерхностными интрузиями, вертикальные размеры рудных тел достигают 700 м. Эти месторождения характеризуются повы-

шенным содержанием сульфидных минералов (галенита, сфалерита, блеклых руд, халькопирита), формированием в несколько стадий минерализации, в ряде случаев хорошо выраженной вертикальной зональностью, а также приуроченностью рудных тел к трещинам скола, часто наследующим направление древних разломов.

Значительные вертикальные размеры рудных тел наблюдаются в месторождениях, формирующихся в зонах автономной активизации. К таким месторождениям, по-видимому, относятся рудные тела известного полиметаллического месторождения Пршибрам, где отдельные жилы прослежены по вертикали более чем на 1500 м.

Таким образом, вертикальные размеры рудных тел не одинаковы в эндогенных месторождениях различных формаций и обычно зависят от места проявления месторождений данной формации в общем ходе развития конкретного региона.

Структурные критерии. Определение характера тектонической природы рудовмещающих полостей на первом этапе изучения месторождений также необходимо для приблизительной оценки возможных вертикальных размеров месторождений. Например, оловорудные месторождения грейзеновой и кварц-касситеритовой формаций обычно локализуются в небольших трещинах прототектоники или слабо развитых трещинах скола, а рудные тела месторождений сульфидно-касситеритовой формации наиболее часто встречаются в протяженных трещинах скола, достигающих по вертикали несколько сот метров. Или, например, в некоторых золоторудных месторождениях рудные тела приурочены к шарнирам складок, где развиваются многоступенчатые седловидные жилы, прослеживающиеся на значительные глубины, тогда как жилы, локализующиеся в трещинах разрыва, имеют меньшие размеры. Особенности развития рудовмещающих трещинных структур по вертикали рассмотрены В. М. Крейтером [182]. Некоторые из них могут быть использованы как критерии для определения уровней эрозионного среза рудовмещающих полостей.

Выявление структурных условий локализации оруденения и точное установление характера рудовмещающих полостей необходимы для определения протяженности оруденения на глубину.

Критерии зональности. Эта группа признаков должна дать ответ на вопрос о том, какие горизонты рудных тел вскрыты в настоящее время эрозией. Необходимо иметь в виду, что в пределах общего вертикального интервала рудоотложения, который может быть особенно значительным в эндогенных месторождениях, формирующихся на поздних стадиях развития складчатых областей и в зонах автономной активизации, отдельные рудные тела располагаются кулисообразно, поэтому в одном рудном поле (месторождении) могут быть вскрыты раз-

личные горизонты рудных тел. В связи с этим для определения вертикального размера конкретных рудных тел особое значение приобретает установление по текстурно-структурным особенностям, минеральному составу и характеру изменения боковых пород надежных критериев верхних и нижних горизонтов рудных тел для месторождений различных формаций.

Для верхних горизонтов рудных тел некоторых полиметаллических месторождений, формирующихся в зонах автономной активизации, характерны брекчиевые и кокардовые текстуры, наличие в рудах многочисленных пустот, колломорфное строение минеральных агрегатов (Родопы, Чешский срединный массив). Руды нижних горизонтов имеют плотное, мелкозернистое строение, в них отмечается повышенное содержание сфалерита (Пршибрам, Мадан). Как отмечалось выше, во флюоритовых месторождениях Западного Забайкалья для верхних горизонтов кварц-флюоритовых жил типично своеобразное кокардовое строение руд, исчезающее с глубиной. Брекчиевые текстуры руд отмечаются на верхних горизонтах ряда жил в молибденовых месторождениях Забайкалья и Дальнего Востока, формирующихся в завершающие стадии развития складчатых областей. В таких рудах наблюдается цементация обломков более раннего крупнокристаллического кварца с розетковидным молибденитом более поздним мелкокристаллическим кварцем с тонкочешуйчатым молибденитом, слагающими рудные тела на нижних горизонтах. Важно отметить, что отчетливо устанавливаемые реликты колломорфного строения в жильном кварце на верхних горизонтах некоторых месторождений могут служить доказательством незначительного эрозионного среза рудных тел. Такие явления особенно отчетливо наблюдаются в полиметаллических, золоторудных и флюоритовых месторождениях, формирующихся в зонах автономной активизации, например в месторождениях Пчелояд (Pb, Zn) в Родопах, Мелихов (Pb, Zn) в Чешском массиве, Торей (F) в Забайкалье. В связи с этим детальному изучению особенностей строения жильного кварца на различных горизонтах рудных тел в месторождениях разных формаций следует уделять особое внимание.

Изучение признаков, характеризующих особенности строения и состава рудных тел на разных горизонтах и выделение в их пределах определенных зон с типичными чертами, позволяет более достоверно оценивать вертикальные размеры рудных тел и степень эрозии последних, что имеет важное значение не только при экономической оценке месторождений, но и при металлогеническом анализе рудоносных площадей.

Выявление указанных выше критериев и их использование для установления вертикальной протяженности рудоотложения в конкретных месторождениях должно способствовать созданию научных основ прогноза вертикальных размеров рудных тел в месторождениях разных формаций. Детальное изучение

характерных особенностей типичных представителей наиболее экономически важных формаций с целью установления их диагностических признаков, в том числе и специфических черт рудных тел на различных горизонтах, дает в руки исследователей надежные критерии для определения вертикальных параметров месторождений. Они должны использоваться и при прогнозной оценке, и при металлогеническом анализе новых рудных районов.

В этом отношении следует обратить внимание на новый геохимический метод прогнозной оценки рудных тел, разработанный В. Л. Барсуковым [16], основанный на установлении линейной зависимости между величиной эффективного распределения фтора в поперечном сечении рудной зоны и вертикальной протяженностью оруденения. Этот метод позволяет определять глубину эрозионного среза рудных тел и их размеры по вертикали.

ГЛАВА 11

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Выявление главных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых на территории крупных регионов — основная задача регионального металлогенического анализа. Другой важной задачей, вытекающей из решения первой, является прогнозная оценка изучаемой территории и определение наиболее перспективных площадей, где при проведении поисковых работ могут быть (должны быть) выявлены новые месторождения.

В настоящее время можно говорить о том, что с помощью регионального металлогенического анализа достаточно полно вскрываются закономерности размещения месторождений в пространстве и во времени и на этой основе разрабатываются конкретные прогнозы, определяющие возможность открытия месторождений в новых районах. Практика поисковых работ в той или иной степени подтверждает такие прогнозы. Однако на современном этапе разработки металлогенического анализа еще не создан «инструмент» научного подхода к оценке региональных прогнозов в цифровом (количественном) выражении, и металлогенический анализ на данном уровне развития лишен возможности определения точных масштабов прогнозируемого оруденения. Поэтому в настоящее время металлогенический прогноз считается подтвердившимся, даже если на перспективной площади выявлены только рудопроявления или небольшие месторождения.

Возможность оценки прогнозов в цифровом выражении при региональном металлогеническом анализе открыла бы широкие перспективы для более правильного и эффективного направления поисковых работ, так как способствовала бы концентрации геологических исследований на наиболее перспективных площадях. Однако решение этой задачи находится в стадии начальных научных поисков. В настоящее время еще не разработаны способы, позволяющие выявлять конкретные геологические факторы, влияющие на масштабы проявления оруденения. Как показывает анализ таких факторов, при кажущихся сходных условиях (геологических обстановках) в одних случаях иногда возникают очень крупные месторождения, а в других — только незначительные рудопроявления. Отсутствие научно обоснованной методики количественной оценки вероятных запасов при региональных металлогенических прогнозах, а также достоверных критериев проявления крупных рудных районов и месторождений позволяет считать, что одной из главных задач региональной металлогении на современном этапе ее развития являются разработка научных основ количественной оценки региональных металлогенических прогнозов и определение прогнозных запасов в цифровом выражении. Решение этой задачи во многом связано с привлечением математических методов к обработке геологической информации и использованием математического аппарата при установлении геологических закономерностей.

Остановимся кратко на некоторых вопросах количественной оценки при региональных металлогенических прогнозах и путях развития этого направления металлогенических исследований.

В настоящее время самым распространенным методом количественной оценки региональных металлогенических прогнозов является метод аналогий, который в общем случае сводится к анализу степени сходства между хорошо изученными территориями, где уже открыты или разрабатываются месторождения, и слабо исследованными территориями, на которые распространяется металлогенический прогноз. При таком подходе к количественной оценке прогнозных запасов обычно в первую очередь проводятся аналогии между геологическими закономерностями и факторами, предопределяющими появление рудных районов (зон) и месторождений. Как правило, разные исследователи такие факторы оценивают неоднозначно и во многом субъективно. Поэтому метод аналогий, хотя он и является одним из действенных при разработке региональных металлогенических прогнозов и их оценке в цифровом выражении, все же весьма несовершенен, а полученные по аналогии выводы только вероятны. Из истории науки известны многие заключения по методу аналогии, которые привели к серьезным заблуждениям. Еще известный философ Древнего Востока Ибн-Сина считал,

что аналогия «...может привлечь внимание и навеять сомнение, но не установить достоверность» [119].

Тем не менее метод аналогий в современном металлогеническом анализе играет очень важную роль, так как на этом методе по существу основан весь металлогенической прогноз.

Значение геологических аналогий в открытии рудных месторождений широко известно. Недавно была подчеркнута важная роль этого метода для постановки поисковых работ и открытия новых месторождений меднопорфировых руд в разных рудных провинциях мира [323].

В последние годы в металлогению все настойчивее внедряются математические методы. С учетом специфики этой науки наибольшее применение находят теория вероятностей и математическая статистика. Следует отметить, что Ю. А. Билибин еще в 1937 г. применил статистические методы для оценки перспектив золотоносности бассейна р. Колымы [48]. Первые работы по оценке перспектив рудоносных территорий, основанные на применении статистических методов за рубежом, пожалуй, принадлежат Ф. Блонделю [484] и М. Алле [476], которыми статистически установлены особенности распределения запасов рудных месторождений в хорошо изученных районах США и Франции, а затем сделана попытка оценить перспективы поисковых работ в других регионах. Вероятностные оценки минеральных ресурсов и выделение перспективных площадей для постановки поисковых работ предприняты в Канаде [477, 499]. Здесь исследователями с помощью многомерных статистических методов изучалась степень сходства геологического строения районов с промышленной минерализацией и прогнозируемых территорий.

При определении потенциальных запасов меди и цинка на примере района Абитиби в провинциях Онтарио и Квебек [477] были проведены систематическая оценка большого числа геологических характеристик (рассматриваемых в качестве переменных величин) и их увязка с существующими месторождениями на основе многомерного статистического анализа с целью проверки правильности выбора переменных, обусловливающих проявление месторождений. При этих исследованиях прогнозируемые районы подразделялись на квадраты, для которых затем определялась степень их сходства с контрольными (эталонными) районами, где известны месторождения и рудопроявления. На основе вероятностной оценки каждого квадрата выделялись затем районы (квадраты) с высокой перспективностью и давалась оценка их запасов в цифровом выражении. Ю. И. Михайлова [251] на примерах некоторых работ зарубежных исследователей показала пути использования тренд-анализа геологических признаков для изучения перспектив золотоносности рудных районов Южной Африки и анализа геологических карт. На основе оценки информативности геологи-

ческих признаков Дж. Дерек, И. Саркид и Дж. Троли [489] проанализировали металлогеническую карту Франции и, установив признаки рудных и безрудных площадей, осуществили общий прогноз территории этой страны.

В Советском Союзе опыт применения математических статистических методов для оценки перспектив крупных рудных регионов использован для территории Кольского полуострова при определении его перспектив на сульфидные медно-никелевые руды [4, 108]. Указанные исследователи, применяя количественную оценку степени сходства известных рудных районов с прогнозируемыми и используя для этих целей разработанные ими алгоритмы, для решения задач прогноза обработали на ЭВМ качественные характеристики геологического строения районов Кольского полуострова — массивов основных и ультраосновных пород, а также 79 известных медно-никелевых месторождений Советского Союза и зарубежных стран. В результате была построена серия карт сходства для большей части Кольского полуострова и выделены районы с различной степенью перспективности на открытие сульфидно-никелевых месторождений.

Результаты математической обработки на ЭВМ специально подготовленной геологической информации позволили установить следующие общие закономерности, использование которых как дополнительного материала оказалось возможным для прогнозно-металлогенических целей: а) территория Кольского полуострова в целом оказалась более перспективной на печенгский тип месторождений и наименее на бушвельдский; б) были выделены наиболее перспективные массивы пород, сходные с массивами районов Печенги; в) определены районы, близкие по геологическим особенностям с Мончегорским рудным районом; г) установлено, что на территории Кольского полуострова нет участков, весьма сходных с районами Садбери и Бушвельда; ряд участков обнаруживают сходство с Садбери, а с Бушвельдом почти все участки не сходны.

Такие выводы, конечно, носят весьма общий характер и могли быть получены и без применения математических методов. Тем не менее, что особенно важно, использование последних в этом случае не только подтвердило геологические заключения, но и позволило применить новые методы анализа геологической информации, позволяющие вскрывать взаимосвязи между геологическими явлениями.

Интересное исследование выполнено А. П. Куклиным [200], который для оценки перспективности золотоносных площадей Северо-Востока СССР использовал программу «Кора-3» и оценил на ЭВМ золотоносность 400 площадей, положив эту оценку в основу составления прогнозных карт. Б. И. Сугановым и В. В. Богацким [382] проведена работа в области применения пространственно-статистического анализа при региональных

металлогенических исследованиях. Ими используется «показатель сложности геологического строения», представляющий собой совокупность признаков, оцененных в баллах. Значения этого показателя выносятся на мелкомасштабную карту и соединяются изолиниями; предполагается, что карта в изолиниях отражает пространственно-статистические тенденции сложности геологического строения территории и позволяет выявлять новые структурные особенности региона, влияющие на локализацию оруденения.

Р. М. Константинов [162] подчеркнул значение методов математической статистики для обоснования металлогенических прогнозов и установления достоверных связей между различными металлогеническими факторами. По его мнению, закономерности размещения месторождений в земной коре являются статистическими, поэтому металлогенические гипотезы и прогнозы должны быть прежде всего обоснованы с помощью особых приемов, позволяющих провести проверку статистической обоснованности металлогенических прогнозов и гипотез.

При решении вопроса оценки региональных прогнозов в цифровом выражении важное значение имеет количественный анализ поисковых критериев крупных рудных месторождений. Этому вопросу посвящен обзор Н. Н. Боровко [60], в котором он показал возможность применения математических методов для диагностики крупных объектов по совокупности признаков. Применяя математические методы к анализу признаков крупных месторождений, Н. Н. Боровко наметил ряд следующих общих особенностей проявления крупных месторождений, которые следует учитывать при прогнозно-металлогенических исследованиях:

а) для крупных месторождений характерна приуроченность к участкам сравнительно сложного строения, отличающимся аномальными, редкими значениями различных признаков и их сочетаний;

б) крупные месторождения отличаются от мелких по совокупности признаков, а не по отдельным из них;

в) в ряде случаев устанавливается зависимость масштаба месторождения от наличия того или иного признака, причем если для крупных месторождений характерны одни значения признака, а для рудопроявлений — другие, то мелкие и средние месторождения занимают промежуточное положение; выявление таких признаков важно для прогнозной оценки масштаба месторождений по совокупности признаков;

г) по некоторым признакам крупные месторождения различных рудных формаций в большей степени сходны между собой, чем с мелкими проявлениями «своей» рудной формации;

д) характерно закономерное проявление того или иного признака у крупных месторождений различных рудных райо-

нов и провинций, тогда как мелкие месторождения и рудопроявления не обнаруживают связи с этим признаком.

По мнению Н. Н. Боровко [60], результаты тестового подхода недостаточно эффективно различают признаки по их информативности и не применимы для всестороннего анализа. Однако опыт использования тестового анализа для выявления признаков крупных золото-урановых месторождений в конгломератах, касситерит-сульфидных и ртутных месторождений показывает, что по совокупности признаков крупные месторождения резко обособляются от мелких [168, 172, 470].

Тестовый, или логико-информационный, метод прогноза крупных месторождений в отличие от статистических методов оценки их вероятных масштабов позволяет получать важные выводы путем исследования сравнительно небольшого количества эталонных месторождений [128], различающихся по масштабам. При таком подходе небольшое количество эталонов компенсируется тем, что одновременно рассматривается много разнообразных геологических факторов, в том числе данные о региональной позиции месторождений, локальных рудоконтролирующих структурах, магматизме, типе вмещающих пород, характере их околорудных изменений и т. д.

Путем математической обработки определяются «информационные веса» этих факторов, т. е. количественно оценивается относительная роль каждого из них в образовании крупных месторождений. Сумма этих «весов» позволяет затем судить о вероятных масштабах прогнозируемых месторождений.

Имеющийся опыт применения тестового метода [165, 172] привел к выводам, что информативными по отношению к масштабам оказываются всего лишь 10—30 из рассматривающихся 150—300 факторов.

Наиболее точное определение вероятных масштабов месторождений логико-информационными методами может быть получено, когда и эталонные, и прогнозируемые месторождения принадлежат к одной рудной формации и располагаются в пределах единой металлогенической провинции. Сравнение информативности одинаковых геологических факторов для различных рудоносных территорий показывает, что роль их для оценки месторождений, принадлежащих к единой рудной формации, может заметно меняться и соответственно точность прогноза при использовании информационных весов, полученных на основе изучения эталонных месторождений из различных рудных районов, заметно снижается.

Как показывают первые результаты [262], тестовый подход, по-видимому, с успехом может быть применен при количественной прогнозной оценке не только масштабов месторождений, но и перспектив отдельных рудных районов.

Использование математического аппарата для решения задач определения признаков масштабов месторождений явля-

ется перспективным направлением применения математических методов в металлогении. Установление характерных признаков проявления крупных месторождений разных рудных формаций и их «математическое осмысливание» очень важны для прогнозной оценки рудоносных территорий. На это обстоятельство обращали внимание многие исследователи [164, 165, 179, 252].

Для выявления таких признаков и их использования при оценке рудоносности площадей в цифрах Ю. И. Михайлова и А. А. Иванова [252] применили метод «главных компонент» факторного анализа. На примере свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья они показали принципиальную возможность использования этого метода для оценки масштабов проявления эндогенного оруденения и установления закономерностей пространственного размещения и количественной оценки условий локализации месторождений в пределах металлогенических зон и поясов.

Значение правильного выбора шкалы геологических признаков для оценки масштабов месторождений с помощью ЭВМ подчеркнуто С. В. Сиротинской [338], которая отметила необходимость сокращения числа признаков до минимума при оценке перспектив месторождений способами распознавания образов.

Широкие возможности внедрения математических методов в рудную геологию и прежде всего для прогноза рудоносности были продемонстрированы Р. М. Константиновым, З. Е. Королевой и В. Б. Кудрявцевой [169], показавшими большое значение задач распознавания образов и для оценки возможных масштабов оруденения на основе оптимального выбора шкалы признаков.

Применение математических методов и прежде всего методов многомерной статистики в настоящее время широко используется для оценки перспектив и запасов в пределах рудных полей, отдельных месторождений и даже рудных тел. В этом направлении, как известно, среднеазиатская школа рудных геологов добилась значительных успехов, и их опыт количественного прогнозирования запасов локальных рудоносных объектов широко заимствуется и используется в практике [6, 448, 452].

В то же время прогнозная оценка в цифровом выражении крупных регионов, количественный прогноз при региональных металлогенических работах, находится еще в стадии разработки и становления.

Как это следует из примеров, приведенных выше, намечается еще совсем робкое применение математических методов для целей оценки регионального прогноза в цифрах. Это скорее даже не количественная оценка прогноза, а решение статистическими методами задач, связанных с определением перспек-

тив тех или иных достаточно крупных по площади рудоносных территорий.

Можно утверждать, что в настоящее время по-прежнему в основе количественной оценки прогнозов находится «старый метод аналогии», эффективность которого зависит в первую очередь от опыта и интуиции исследователя, а подтверждение прогнозов носит еще часто случайный характер.

По-видимому, метод аналогий останется еще долгое время «главным оружием», определяющим успех в деле количественной оценки региональных металлогенических прогнозов, однако для его более эффективного применения несомненно должен быть привлечен точный математический аппарат анализа главнейших признаков, определяющих масштабы прогнозируемых месторождений. Отдельные стороны этого вопроса были рассмотрены выше. Здесь следует подчеркнуть, что при оценке в цифровом выражении металлогенических прогнозов в настоящее время приходится оперировать прежде всего возможными цифрами запасов крупных месторождений, открытие которых по аналогии предполагается в том или ином потенциально рудоносном районе.

В то же время до сих пор не разработаны критерии количественной прогнозной оценки единых крупных рудоносных площадей (провинций, зон и районов). Для решения этих вопросов, по-видимому, важное значение имеют анализ информации по региональным геохимическим и геофизическим особенностям анализируемых территорий и выявление геохимических и геофизических признаков (характеристик), присущих крупным рудоносным площадям. При всем большом потенциальном значении использования математических методов для целей количественной оценки региональных прогнозов и выявления закономерностей размещения месторождений во времени и в пространстве нельзя забывать, что в основе этих исследований должен всегда находиться исторический подход к анализу конкретных геологических явлений.

Математические методы в последние годы стали шире использоваться при прогнозе рудоносности, при оценке масштабов оруденения [452]. Однако эти работы еще не вышли из стадии эксперимента. Пожалуй, сейчас стало более очевидным, что математические методы являются только сугубо вспомогательным аппаратом при интерпретации и анализе геологических данных и не могут претендовать на исключительную роль при металлогеническом анализе. Об этом свидетельствуют материалы обзора применения математических методов при оценке месторождений [166, 170] и труды совещания по применению современных математических методов для решения некоторых задач рудной геологии [230].

Намечаются пути использования математических методов для решения задач прогноза уникальных по масштабам место-

рождений [168, 173]. Особенно перспективно применение математических методов для получения региональных прогнозов в цифровом выражении, а также для определения вероятных масштабов оруденения рудных полей [166, 168]. Намечается наиболее успешное применение логико-информационных методов на основе применения кибернетических моделей [215]. Интересный опыт применения информационных методов при металлогеническом анализе Забайкалья и для построения металлогенических карт предпринят А. Д. Канищевым [146, 148], который попытался выяснить информативность свойств месторождений и их прямых поисковых признаков для целей прогноза оруденения.

Комплексный металлогенический анализ в первую очередь, а затем применение математических методов для более правильного осмысливания геологических факторов, специального сбора последних и выявления скрытой в них информации для целей региональной металлогении — это тот путь, который должен привести к более углубленному изучению взаимосвязей различных геологических явлений и установлению надежных признаков, влияющих на масштабы проявления оруденения. Этот путь позволит понять причины интенсивного и экстенсивного проявления минерализации, казалось бы, в сходных рудоносных структурах и тем самым будет способствовать разработке действенных методик определения запасов при региональных металлогенических исследованиях.

Металлогения и математика. Одной из характерных особенностей науки на современном этапе ее развития является внедрение математических методов во все области научного эксперимента и анализа. Считается, что использование математики в естественных науках служит показателем ее прогресса в условиях современной научно-технической революции. За последние годы в геологии достигнуты определенные успехи, особенно в обработке геохимической и геофизической информации на ЭВМ. Однако в других случаях привлечение математических методов далеко не всегда сразу же сказывается на получении новых результатов. В этом отношении весьма показательна металлогеническая наука, где успехи в области изучения закономерностей размещения и образования рудных месторождений с помощью математики еще более чем скромны.

В последние годы обзор математических методов, применяемых в геологии рудных месторождений, выполнен Р. М. Константиновым, Б. В. Кристальным, И. Т. Макеевой и др. [170, 171]. Ю. И Михайлова [250, 251] рассмотрела вопросы зарубежного опыта машинной обработки информации в связи с металлогеническими исследованиями. Наиболее распространенными математическими методами, применяемыми для целей изучения рудных месторождений и металлогенического прогноза, являются статистические, а также методы распознавания

образов, основанные на статистическом подходе и дискретном анализе.

Математические методы для целей региональной металлогении наиболее целесообразно использовать при решении следующих основных задач, тесно связанных друг с другом:

1. При решении информационных задач, связанных с анализом публикаций по металлогении и рудным месторождениям. Организация машинного поиска информации.

2. При анализе и обработке всей геологической информации (в том числе геохимической, геофизической, по рудоносности территории и др.) по изучаемому региону. Для решения этих задач, очевидно, наиболее приемлемы различные методы математической статистики.

3. Для выявления надежных критериев месторождений определенных рудных формаций и установления отличительных признаков наиболее крупных месторождений и условий их образования.

4. При регионально-металлогеническом анализе для проведения аналогий с целью прогноза. Здесь важное значение, возможно, будут иметь математические методы выявления и оценки «веса» факторов, контролирующих размещение оруденения.

5. Для количественной оценки региональных прогнозов в цифровом выражении и возможных масштабов прогнозируемых месторождений. Решение этой задачи имеет очень большое значение для более эффективного выбора оптимальных направлений поисковых работ.

Пока намечаются только пути решения этих вопросов, однако уже на данной стадии их разработки очевидно, что часто применяемая разными исследователями оценка благоприятных факторов, контролирующих размещение и масштабы проявления оруденения, в баллах весьма субъективна, и эту методику нельзя считать основанной на четких научных критериях. Здесь нужен новый принципиальный подход к решению проблемы, и, возможно, применение теории позиционных игр и методов распознания образов для целей прогнозной оценки потенциально рудоносных территорий позволит подойти к решению этой важной задачи прикладной металлогении.

В настоящее время применение математических методов в региональной металлогении только начинается, поэтому крайне важно в первый, экспериментальный период внедрения математики в эту область геологии не предопределять заранее возможные математические методы, пригодные для использования в металлогении, а попытаться с учетом специфики металлогенического анализа привлечь новые разделы математики для решения приведенных выше задач.

ГЛАВА 12

ПРИНЦИПЫ РАЙОНИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ РУДОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Одним из важнейших элементов металлогенического анализа на всех этапах его развития наряду с установлением закономерностей проявления месторождений в пространстве и во времени являлось выделение определенных рудоносных территорий, различных по масштабам и характеру развитой в их пределах минерализации.

Выделение конкретных рудоносных площадей с признаками оруденения или только прогнозируемых, а также научное районирование конкретных регионов с целью определения наиболее перспективных для открытия полезных ископаемых территорий должны осуществляться на основе всего комплекса фактических данных о геологическом строении и металлогении каждого конкретного участка земной коры; это конечная задача при составлении металлогенических и прогнозных карт.

Основные принципы генетической классификации рудоносных площадей рассмотрены Е. Т. Шаталовым [437]. Он привел обзор работ, касающихся вопросов классификации рудоносных территорий, и основные критерии, которые необходимо учитывать при классификации последних. В этой же работе Е. Т. Шаталов выделил основные типы рудоносных площадей и дал классификацию основных металлогенических провинций и зон. Данная работа в значительной степени облегчила нашу задачу, мы сознательно опускаем обзор многих исследований, касающихся вопросов классификации рудоносных площадей, отсылая читателя к работе Е. Т. Шаталова [437].

Необходимо отметить, что в отличие от некоторых исследователей [126, 437] мы видим существенные различия между понятиями «принципы районирования» и «принципы классификации». В первом случае, по нашему мнению, вопрос идет о принципах и методах выделения (или оконтуривания) рудоносных площадей различного масштаба, а во втором — о типизации или классификации рудоносных территорий на основе определенных общих признаков, указывающих на одинаковые (сходные) условия формирования конкретных рудоносных структур.

Металлогеническое районирование рудоносных территорий предусматривает главным образом отражение особенностей проявления месторождений полезных ископаемых в пространстве, тогда как металлогеническая классификация рудоносных площадей предполагает их подразделение и типизацию на основе ряда характерных и общих признаков. При этом металлогеническая классификация в общем случае более абстрактна, а фактор времени (относительного и абсолютного) играет здесь



Е. Т. ШАТАЛОВ,
доктор геолого-минералогических наук, лауреат Государственных премий СССР, один из создателей нового направления — металлогении рудных районов

для классификационных целей значительно большую роль, чем при металлогеническом районировании.

Однако следует иметь в виду, что исследования по металлогеническому районированию и классификации рудоносных территорий всегда связаны между собой. При металлогеническом анализе конкретных регионов выделение рудоносных структур и металлогеническое районирование территории всегда предшествуют классификации конкретных рудоносных структур, хотя и производятся с учетом абстрактных классификаций рудоносных территорий или классификаций рудоносных структур, выполненных в других или анализируемом регионах ранее.

Остановимся на вопросе о масштабах рудоносных площадей, которые следует учитывать при металлогеническом районировании. На необходимость строгой унификации масштабов рудоносных территорий неоднократно обращал внимание Е. Т. Шаталов [434, 436, 437, 438] что, впрочем, по нашему мнению, не является строго обязательным для всех рудоносных регионов. Однако определенная градация по размерам рудоносных площадей безусловно необходима. Учитывая практику металлогенических исследований в СССР и за рубежом, а также предложения Е. Т. Шаталова (436, 437), в настоящее время может быть представлена градация по следующей схеме — от более крупных к более мелким рудоносным площадям (территориям):

1) планетарный металлогенический пояс;
2) металлогеническая провинция (область);
3) рудный (металлогенический) пояс;

4) металлогеническая зона (район);
5) рудная зона (район).

Термины «металлогенический район» и «рудный район» относятся к рудоносным территориям, не имеющим отчетливо выраженной линейности, тогда как все остальные характеризуют линейно вытянутые минерализованные площади.

Охарактеризуем кратко металлогенические понятия, относящиеся к масштабам (категорийности) рудоносных площадей [436].

Планетарный металлогенический пояс. Наиболее крупная линейно вытянутая металлогеническая структура, охватывающая обычно группу разновозрастных геологических структур, в пределах которых развиты относительно близкие по возрасту и особенности формирования месторождения (например, кайнозойские или мезозойские приповерхностные месторождения, объединяющие представителей разных типов и разных формаций, формирующихся в сходных геотектонических условиях). В состав планетарных металлогенических поясов могут входить несколько металлогенических провинций (областей) или рудных поясов.

Металлогеническая провинция (область). Весьма крупная металлогеническая площадь, характеризующаяся развитием разнообразного оруденения, проявляющегося обычно на территории единого в географическом отношении региона, контуры которого часто совпадают с определенными геологическими границами, оконтуривающими определенные геологические структуры, близкие по возрасту или типу развития.

Рудный (металлогенический) пояс. Крупная линейно вытянутая рудоносная структура, в пределах которой развиты месторождения определенных рудных формаций, возникающих в сходной тектоно-магматической обстановке, а в случае осадочных месторождений — близких по условиям седиментогенеза.

Металлогеническая зона (район). Основная металлогеническая единица; выявление металлогенических зон — важная задача регионального металлогенического анализа. Металлогенические зоны входят в состав рудных провинций и поясов и представляют собой линейно вытянутые рудоносные структуры, в пределах которых локализуются месторождения одной характерной рудной формации, проявляющиеся в строго определенных условиях тектонического режима, предопределяющего развитие в пределах металлогенических зон одного типа одинаковых (сходных) осадочных, осадочно-вулканогенных и магматических формаций. Размеры металлогенических зон разных типов различны, они изменяются в зависимости от проявляющихся в их пределах рудных формаций и положения самих зон в общем процессе эволюции главнейших структурных элементов земной коры.

Рудная зона (район). Локальные рудоносные площади, являющиеся частью металлогенических зон (районов), в пределах которых развиты обычно месторождения одной формации или типа. Термин «рудный район», как правило, является комплексным понятием, имеющим часто географическое и промышленно-экономическое значение. В применении к металлогении понятие «рудный район» должно рассматриваться в ограниченном объеме, подразумевая прежде всего локальную рудоносную площадь в пределах металлогенических зон, характеризующихся развитием месторождений определенных рудных формаций или отдельных их типов.

Как справедливо отмечает Е. Т. Шаталов [437], при металлогеническом районировании не обязательно выделять все градации рудоносных площадей, но определенная соподчиненность (ранговость) в выделении рудоносных территорий всегда должна соблюдаться.

Нами не приводятся параметры выделенных рудоносных структур в цифровом выражении; размеры указанных площадей даже одного ранга могут колебаться в значительных пределах, что, как правило, взаимосвязано с типом оруденения, развитым на конкретных площадях, однако соподчиненность по относительным масштабам выделенных выше рудоносных площадей всегда должна сохраняться.

Приведем несколько примеров. Известно, что вдоль западного побережья Северной и Южной Америки протягивается планетарный металлогенический пояс с различными рудными месторождениями. В его пределах отчетливо выделяются, например, Мексиканская флюоритоносная провинция и металлогеническая провинция с меднопорфировыми месторождениями Южной Америки. В этих провинциях расположены рудные пояса, в том числе меднопорфировый пояс Чили, в котором, в свою очередь, устанавливаются металлогенические и рудные зоны.

Или другой пример. В пределах комплексной рудной провинции Забайкалья отчетливо выделяются рудные пояса, намеченные еще С. С. Смирновым [360]: золото-молибденовый, оловянно-вольфрамовый и полиметаллический, в пределах которых устанавливаются металлогенические зоны и районы, а в контурах последних — рудные зоны и узлы. В свою очередь, Забайкальская провинция входит в состав Монголо-Охотского металлогенического пояса, протягивающегося на тысячи километров от Западной Монголии до Охотского моря и сопоставимого по размерам с другими планетарными металлогеническими структурами (поясами). Нет необходимости приводить другие примеры, в общих чертах подтверждающие рассматриваемую соподчиненность рудоносных структур.

Одной из характерных особенностей, отражающей общие закономерности развития рудных процессов в земной коре,

является четко выраженная тенденция к геохимической и металлогенической специализации указанных рудоносных структур в зависимости от их масштаба. Эта тенденция, по-видимому, может рассматриваться как определенная закономерность, отражающая связь масштабов рудоносных структур с их металлогенической специализацией. Данная закономерность выражается в том, что в пределах более крупных рудоносных площадей проявляется более сложная и комплексная минерализация, представленная сложными сериями различных по формационной принадлежности месторождений, тогда как в пределах рудоносных площадей меньшего ранга намечается более четкая специализация в проявлении оруденения с развитием в их пределах месторождений трех-двух, редко трех и, наконец, только одной формации.

Действительно, в планетарных металлогенических поясах развиты месторождения различных формаций, причем иногда очень многих. В металлогенических провинциях число месторождений различных рудных формаций уменьшается, причем в некоторых регионах в составе металлогенической провинции преобладают месторождения одной или двух формаций. В пределах рудных поясов обычно широкое развитие имеют месторождения одной формации, реже двух; для металлогенических зон и районов характерно развитие месторождений одной формации, а для рудных зон и узлов — месторождений определенных типов какой-либо одной рудной формации.

Такая четкая тенденция в специализации оруденения в зависимости от масштаба рудоносных площадей свидетельствует еще и о локальной природе рудогенерирующих очагов, их специфическом геохимическом профиле, отражающем, по-видимому, общую закономерность в развитии минерального вещества нашей планеты, выражающуюся в стремлении к сепарации геохимически родственных соединений.

Основная задача металлогенического районирования — выделение определенных типов рудоносных площадей, характеризующихся и определенным набором месторождений полезных ископаемых. Как было показано выше, такие рудоносные площади различны по масштабам и в их пределах могут локализоваться месторождения разных формаций. В основу металлогенического районирования должен быть положен структурно-формационный принцип, подразумевающий выделение рудоносных площадей с учетом особенностей их тектонического (геологического) развития и характера геологических формаций, развитых в их пределах. Это положение относится к выделению рудоносных территорий всех рангов.

При региональном металлогеническом анализе крупных территорий, обычно входящих в состав планетарных металлогенических поясов или отдельных металлогенических провинций, наиболее сложная задача состоит в выделении металлогениче-

ских зон и районов, а в их пределах — рудных зон и узлов. Здесь структурно-формационный подход к выделению конкретных рудоносных структур также по-прежнему имеет важное значение, однако изучение месторождений, выделение среди них конкретных рудных формаций и установление закономерностей их размещения приобретают ведущую роль.

Е. Т. Шаталов [437] справедливо указывал при анализе принципов выделения и классификации рудоносных территорий различными исследователями, что все они практически не использовали тип минерализации как основной, наиболее важный критерий при характеристике типов рудоносных территорий. В то же время этот критерий должен быть одним из главных при выделении металлогенических зон и районов, рудных зон и узлов.

Следует иметь в виду, что границы рудоносных площадей могут не совпадать с геологическими границами и контурами определенных геологических формаций; в этом случае выявление площадных ареалов развития месторождений конкретных рудных формаций играет решающую роль при определении границ рудоносных территорий.

Конечно, при выделении рудоносных площадей разных масштабов следует учитывать всю имеющуюся геофизическую, геохимическую и другую информацию, позволяющую более объективно и достоверно определять контуры рудоносных структур. В особенности это необходимо при прогнозе новых площадей, на которых признаки минерализации еще не установлены. Однако выявление формационной принадлежности рудных образований, развитых на конкретной площади, всегда строго необходимо при выделении рудоносных структур, особенно металлогенических и рудных зон, так как месторождения определенных рудных формаций всегда проявляются в строго определенных тектонических обстановках.

Для месторождений некоторых рудных формаций — магматических, осадочных или осадочно-гидротермальных — площади их развития совпадают с границами определенных геологических формаций, что облегчает выделение рудоносных структур и позволяет более достоверно определить их контуры.

При металлогеническом анализе конкретных регионов выделение рудоносных площадей (структур) разных порядков, или, точнее, металлогеническое районирование территории, по существу является итогом работы по выявлению закономерностей размещения месторождений в пространстве. Кроме этого, важное значение имеет установление закономерностей проявления месторождений во времени, для чего надо знать абсолютный и относительный возраст рудоносных структур и месторождений; это позволит судить о временной последовательности образования металлогенических и рудных зон.

В. И. Смирнов [341, 344] считает целесообразным металлогеническое районирование территории нашей страны проводить по принципу оконтуривания площадей развития месторождений определенных эпох, при этом металлогенические (рудные) провинции складчатых зон следует определять на основе выделения площадей распространения месторождений завершающей эпохи оруденения. По этому принципу В. И. Смирнов на территории СССР выделяет следующие провинции: 1) альпийские (Северо-Восток, Кавказ, Карпаты); 2) киммерийские (Забайкальско-Приморская); 3) герцинские (Урал, Казахстан, Средняя Азия, Донбасс, Новая Земля, Таймыр, Томь-Колыванская зона); 4) каледонские (Алтае-Саянская область); 5) байкальские и протерозойские (Сибирская платформа с ее древним обрамлением и Русская платформа с Балтийским и Украинским щитами).

В. И. Смирнов [341] отмечает, что возможны различные подходы к районированию рудоносных площадей и, в частности, на основе выделения преобладающего развития тех или иных типов геологических структур, рудных формаций, месторождений отдельных металлов или их групп.

Выделение рудоносных площадей в каждом конкретном регионе — это творческий, научный процесс, который должен быть лишен штампов, но всегда основан на глубоком и всестороннем анализе всего имеющегося в распоряжении исследователя фактического материала. В каждом конкретном регионе размеры рудоносных структур и их особенности, а также характер рудных формаций, проявляющихся в их пределах, могут быть существенно различными.

Классификации рудоносных площадей представляют не только теоретический интерес, они прежде всего необходимы для прогнозирования новых рудоносных территорий и более эффективного направления поисковых работ. Примером таких общих классификаций рудоносных структур являются классификации А. И. Семенова [330, 333] и Е. Т. Шаталова [235, 434, 437].

А. И. Семенов [330] вслед за Ю. А. Билибиным [49] подробно охарактеризовал различные типы металлогенических зон в складчатых областях. Он выделил металлогенические (структурно-металлогенические) зоны, характерные для разных этапов развития подвижных поясов земной коры; показал время их проявления, а также причины различий между исходными типами металлогенических зон в разных регионах. Эти различия зависят от литологического состава осадочных и вулканогенных образований, развитых в пределах металлогенических зон, как синхронных с периодом их развития, так и принадлежащих фундаменту; от интенсивности проявления тектонических движений и магматической деятельности, а также от глубины эрозионного среза. Всего выделено двенадцать главных

типов металлогенических зон, хотя, по мнению А. И. Семенова, в действительности их, несомненно, больше. В пределах каждой из металлогенических зон допускалась возможность выделения рудных зон и узлов.

Важная особенность классификации А. И. Семенова заключалась в том, что металлогенические зоны выделялись по развитию характерных типов оруденения, проявлявшегося в строго определенных и специфических тектонических условиях, свойственных только данному типу минерализации. Эти условия изменяются в ходе эволюции подвижных зон от начальных и ранних этапов их развития к поздним и конечным, когда складчатая область переходит в состояние консолидированного сооружения платформенного типа.

Позднее А. И. Семенов [332] рассмотрел вопросы выделения различных типов металлогенических провинций в послепротерозойских складчатых областях. При классификации металлогенических провинций он предлагает учитывать следующие их особенности:

— характер и строение субстрата (фундамента), на котором развивается подвижной пояс (имея в виду прежде всего особенности разреза тектоносферы, которые, по его мнению, определяют области магматического питания на отдельных стадиях развития каждой металлогенической провинции);

— положение металлогенической провинции в региональных структурах и особенности их соотношения с древними платформами и океаническими плитами, областями завершенной складчатости и т. д.;

— особенности геологического развития (специфические особенности осадконакопления, эффузивного и интрузивного магматизма, тектонических движений) на разных стадиях эволюции конкретных подвижных зон (металлогенических провинций);

— характерные особенности металлогении складчатой области с учетом всех особенностей проявления оруденения во времени и в пространстве.

Применяя эти критерии, А. И. Семенов в послепротерозойских складчатых областях выделил пять главных типов металлогенических провинций, при этом металлогенические провинции в докембрийских складчатых областях, по его мнению, представляют собой особую группу металлогенических структурных единиц земной коры.

Некоторые типы металлогенических провинций, выделяемые А. И. Семеновым, достаточно полно охарактеризованы в ряде работ, поэтому их подробная характеристика здесь не приводится. А. И. Семенов выделяет следующие типы металлогенических провинций в послепротерозойских складчатых областях.

а. Уральский тип: Урал, Большой Кавказ в палеозое (первый подтип); Малый Кавказ, Камчатка, Курилы, Карякское

нагорье (второй подтип). Ассоциации главных полезных ископаемых: Fe, Mn, Cr, Ti (Урал); Ni, Co, Pt (Урал); Cu, Zn, Au, Ag, Mo; ассоциация Cu+Mo характерна для второго подтипа провинций; Hg, Sb (второй подтип), асбест, алюминий, барит.

б. Казахстано-алтае-саянский тип: Алтае-Саянская, Казахстанская и Северо-Тянь-Шаньская провинции. Характерны месторождения: Fe, Ti, Cu, Au, Mo, Pb, Zn, Ag, Co, Hg, Sb, Al, Ba, P.

в. Тянь-шаньский тип: Южный Тянь-Шань, Джунгаро-Балхашская и Иртыш-Зайсанская металлогенические провинции. В отличие от предыдущего для провинций данного типа характерно очень широкое распространение вулканогенных пород и интрузий кислого и частично среднего состава, проявляющихся на стадии консолидации складчатых областей. Типичные полезные ископаемые: Pb, Zn, Cu, Au, W, Mo, Ag, As, Hg, Sb, Fe.

г. Дальневосточный тип: Верхняя Чукотка, Сихотэ-Алинь, Восточное Забайкалье. Ведущие полезные ископаемые: Sn, Au, W, Mo, Pb, Zn, Ag, CaF_2, Sb.

д. Таймырский тип (выделен впервые А. И. Семеновым): Таймырская палеозойско-раннемезозойская металлогеническая провинция, Верхоянская палеозойско-раннемезозойская зона, Донбасс. По особенностям металлогении провинции этого типа занимают промежуточное положение между складчатыми областями и платформами. Характерные металлы: Pb, Zn, As, Hg, Cu, Ni. А. И. Семенов полагает (это весьма спорно!), что с этим типом провинций связано формирование сульфидной медно-никелевой минерализации в траппах.

Среди докембрийских складчатых областей А. И. Семенов выделяет четыре типа: 1) балтийский тип с ведущим значением протерозойских структур при развитии следующих характерных полезных ископаемых: Fe, Ni, Cu, Nb, P, Ti; 2) украинский тип (Украинский кристаллический массив) с месторождениями Fe, Ti, Zr, Nb; 3) алданский тип (Алданский щит и Анабарский массив) с месторождениями железа, мусковита, флогопита, золота; 4) байкальский тип (Байкальская горная область, Енисейский кряж, Восточный Саян и Тиман) с месторождениями Fe, Ti, Au, P. По мнению А. И. Семенова, этот тип провинций служит как бы переходным звеном между металлогеническими провинциями первого и второго типов.

Значительный вклад в вопросы классификации рудоносных территорий внес Е. Т. Шаталов [235, 434, 437, 438, 441]. В основу создания генетической классификации рудоносных площадей на тектоно-магматической основе, по его мнению, должны быть положены следующие основные критерии:

«а) для металлогенических провинций — типы минерализации (комплексы металлов: ведущих, характерных, подчиненных), петрохимические особенности магм (для эндогенной ми-

нерализации), особенности осадконакопления в зависимости от палеогеографических условий (для экзогенной минерализации), особенности процессов метаморфизма (для метаморфогенной стадии). Ввиду того, что типы минерализации присущи отдельным стадиям развития геологических структур, этим же определяется «контрастность» металлогенического облика провинций. Поэтому оба фактора: время развития и особенности тектонических структур, возникающих в отдельные стадии этого развития, — следует рассматривать во взаимосвязи. Выделение металлогенических провинций применительно к типам земной коры и процессам, происходящим в верхней мантии, на данной стадии их изучения преждевременно. Полицикличность развития имеет большое значение, но не может служить общим классификационным признаком металлогенических провинций ввиду разной степени проявления отдельных стадий цикла;

б) для металлогенических зон и металлогенических областей (типовых групп рудных районов) — группы рудных формаций или отдельные рудные формации, связанные с определенными геологическими формациями и олицетворяющие их металлогеническую специализацию. Выделение типов металлогенических зон является для регионального металлогенического анализа и общей оценки перспектив рудоносности территорий одним из наиболее важных разделов классификации рудоносных площадей;

в) для рудных районов, рудных зон и рудных узлов — преобладающие рудные формации, геологические формации или отдельные их фации.

Структурные данные могут служить критериями второго и последующих порядков, но не первым классификационным критерием» [441, с. 463—464].

Приведенные критерии не учитывают ряда важнейших признаков, без которых в настоящее время нельзя проводить классификацию рудоносных территорий: к таким признакам (критериям) относятся общий характер тектонического развития территории, роль структурных факторов, характер геофизических и геохимических полей, некоторые данные о строении тектоносферы и т. д.

Рассмотрим классификацию металлогенических провинций, предложенную А. И. Семеновым, Ю. Г. Старицким и Е. Т. Шаталовым [335]. Для выделения различных типов металлогенических провинций в складчатых областях указанные исследователи использовали следующие признаки:

а) особенности состава и строения коры, на которой формировалась складчатая область;

б) положение складчатой области по отношению к древним океаническим плитам, платформам и областям завершенной складчатости;

в) особенности осадконакопления, магматизма, метаморфизма, тектонических дислокаций и процессов рудообразования в разные этапы развития подвижных областей.

Для выделения металлогенических провинций на платформах использовались: а) возраст и состав пород, слагающих фундамент; б) интенсивность магматических проявлений; в) особенности осадконакопления и г) степень влияния прилегающих складчатых областей.

На основе этих принципов в складчатых областях и на платформах было выделено восемь различных типов металлогенических провинций.

В складчатых областях:

1) ультраметаморфический фемический тип с подтипами: алданским (железо, флогопит, золото), украинским (железо) и балтийским (железо, титан, медь, никель, мусковит);

2) метаморфический сиалическо-фемический (байкальский) тип (золото, титан, мусковит, медь);

3) фемический (уральский) тип с двумя подтипами — уральским и тихоокеанским (железо, хром, платина, никель, медь);

4) сиалическо-фемический (казахстано-алтае-саянский) тип (железо, титан, золото, медь, фосфор, ванадий);

5) фемическо-сиалический (тянь-шаньский) тип (свинец, цинк, медь, серебро, вольфрам, молибден, золото);

6) сиалический (дальневосточный) тип (золото, олово, вольфрам, бор);

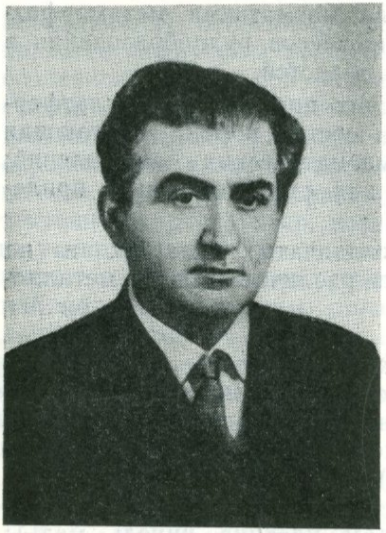
7) щелочно-фемическо-сиалический (таймырский) тип (свинец, цинк, ртуть).

На платформах выделен один щелочно-фемический тип провинций с подразделением на два подтипа: с интенсивным проявлением магматизма и эндогенного рудообразования (никель, медь, железо, алмазы) и со слабым их проявлением (алюминий — бокситы, марганец, осадочное железо).

В каждом типе провинций выделялись металлогенические зоны; всего в складчатых областях устанавливается двадцать шесть типов зон, а на платформах — одиннадцать.

Современный фактический материал позволяет внести определенные коррективы в данную классификацию провинций, причем эти коррективы имеют принципиальное значение. Так, например, открытия последних лет показывают, что олово является характерным элементом провинций тянь-шаньского типа, а для некоторых провинций дальневосточного типа типичны серебро, медь, ртуть и сурьма. Иными словами, распределение характерного оруденения в некоторых типах указанных металлогенических провинций оказывается существенно иным, чем предполагалось ранее.

Кроме того, полученные материалы о глубинном строении металлогенических провинций не позволяют сделать выводы о соответствии глубинного строения и предполагаемого состава



И. Г. МАГАКЬЯН — академик АН Армянской ССР, лауреат Государственной премии СССР, крупный исследователь в области региональной металлогении и рудных месторождений, известный специалист по геологии рудных месторождений Кавказа

земной коры выделенным сложным и порой неопределенным названиям типов провинций — фемическо-сиалический, сиалическо-фемический, щелочно-фемическо-сиалический и т. д.

Н. А. Беляевский [30] отмечает, что А. И. Семенов, Ю. Г. Старицкий, Е. Т. Шаталов [335] при разработке указанной классификации металлогенических провинций не опирались на конкретный геофизический материал о строении земной коры, а предполагаемые ими особенности состава коры в пределах разных провинций мало соответствуют особенностям ее строения, устанавливаемым по сейсмическим данным. Такое заключение позволяет сделать следующий вывод: на современном уровне наших знаний о составе и строении коры, на которой формировалась складчатая область, эти критерии не могут быть главными при выделении металлогенических провинций, а особенности состава (предполагаемого!) коры — использоваться при определении названий типов провинций.

Тем не менее в последней обобщающей работе по региональной металлогении СССР [126] изложенные выше принципы положены в основу металлогенического районирования с выделением все тех же «геохимических» (фемических, сиалическо-фемических, сиалических, фемическо-сиалических и др.) типов провинций.

И. Г. Магакьян [219] при классификации рудных провинций за основу их выделения принимает специфические черты минерализации, обусловленные особенностями геологического развития определенного участка земной коры, т. е. типами осадконакопления, структур, магматизма, относительной ролью отдельных этапов развития. Им выделяется несколько типов

рудных провинций, характеризующихся определенным набором рудных формаций: а) урало-кавказ-закавказский тип (Кавказ-Закавказская, Камчатско-Карякская зоны, Урал и Таймыр); б) забайкальский (или дальневосточный) тип рудных провинций (Забайкалье, Дальний Восток, Северо-Восток, Казахстан); в) среднеазиатский тип (Средняя Азия, Северо-Восточный Казахстан, Алтае-Саянская область); г) украинско-балтийский тип в пределах древних щитов (к этому типу также относятся Алданский, Анабарский и Енисейский щиты); д) сибирско-русский тип (с месторождениями в чехлах соответствующих платформ).

Выделяя типы рудных (металлогенических) провинций, И. Г. Магакьян подчеркивает, что «взаимосвязь типов осадконакопления, структур, магматизма и минерализации должна стать основным принципом металлогенического районирования. При этом мы отказываемся от попыток выделить типы тектонических структур и на их основе рудные провинции, а предлагаем несколько иной путь: объективно выделить непосредственно различные типы рудных провинций, различающихся по характеру минерализации, а затем рассмотреть историю геологического развития этих регионов и причины различий в характере оруденения» [219, с. 93].

Ф. С. Тюрнор [399] в интересном обзоре металлогенических провинций и эпох зарубежных стран под металлогеническими провинциями понимает интенсивно минерализованные области и регионы, содержащие месторождения специфического типа или группы месторождений, обладающие чертами, указывающими на их генетическую связь. В соответствии с тектоническим положением он группирует их в металлогенические провинции докембрийских щитов, стабильных областей и горных поясов.

Д. Нобл [524] также понимает под металлогенической провинцией районы развития месторождений определенных металлов, окруженные безрудными площадями или другими провинциями, и на этой основе проводит выделение крупных рудоносных площадей. Он полагает, что источник металлов находится в верхней мантии, а поэтому нет закономерной связи между геологическими процессами, протекающими в земной коре, и формированием месторождений. К этой точке зрения близок П. Рутье [534], по мнению которого, металлогенические провинции Европы являются секущими по отношению к главным структурным элементам континента, а закономерное размещение рудных месторождений обусловлено особенностями глубинного строения, связанными с начальными стадиями развития земной коры. Месторождения, наблюдаемые в современных структурах земной коры, являются в основной своей части «унаследованными», переотложенными, как бы трассирующими положение древних рудоносных структур. Исходя из этого, П. Рутье [534] предлагает новый подход к металлогеническому

анализу рудоносных площадей, основанный на принципе выделения «металлоносных площадей», которые имеют обычно форму поясов и объективно, по его мнению, отражают положение первичных древних рудоносных провинций, являющихся источником реомобилизованного и перераспределенного в более молодые эпохи рудного вещества.

Такой «объективизм» указанных исследователей, конечно, допустим при выделении и классификации рудоносных территорий, но нельзя не отметить, что на современном уровне металлогенических исследований и развития геологических наук, особенно тектоники, учения о формациях и т. д., он ведет к определенному упрощенчеству и не помогает на подлинно научной основе вскрывать сложные закономерности размещения минерализации в земной коре.

По-видимому, в настоящее время наиболее правильно классификацию крупных металлогенических структур (провинций, областей, поясов и зон) проводить на основе анализа объективно устанавливаемых признаков. К ним прежде всего относятся характер и состав геологических формаций, развитых в пределах той или иной региональной рудоносной площади. Именно формации, как в фокусе, отражают особенности тектонического развития регионов, и по типу формаций и их серий мы судим в конечном счете о структурном положении и принадлежности конкретных регионов к тем или иным структурам земной коры.

В общем случае структурно-формационный принцип должен быть основой как металлогенического районирования, так и классификации рудоносных территорий. Применение этого принципа для классификации рудоносных площадей предпочтительно, так как он одновременно объективно позволяет учитывать и время формирования определенных месторождений и формаций.

Г. А. Твалчрелидзе [390] однозначно считает, что металлогеническое районирование должно базироваться на районировании тектоническом, а классификации металлогенических провинций должны производиться по принципу сходства развитых в их пределах магматических и рудных формаций.

Выделение и классификация рудоносных территорий только на основании того, что там развиты месторождения определенных металлов (например, вольфрама, золота или олова), на современном уровне знаний уже недопустимы. Необходимо знать, к какому типу рудных формаций принадлежат эти месторождения и каковы их главные генетические особенности.

Безусловно, возможны классификации региональных металлогенических структур по их возрасту или группам месторождений, развитых в их пределах; однако подобные классификации по одному или двум признакам не учитывают других важных особенностей рудоносных площадей, знание которых осо-

бенно необходимо для прогноза новых металлогенических провинций, рудных поясов и зон.

При классификации региональных металлогенических структур (провинций, областей, рудных поясов, реже металлогенических зон) в геосинклинально-складчатых областях, по-видимому, наиболее целесообразно анализировать следующий комплекс признаков, который в совокупности позволит наиболее объективно выделять, а затем группировать по типам рудоносные площади.

1. Характерные рудные формации с установлением главнейших генетических типов месторождений и их возраста.

2. Типоморфные металлы (полезные ископаемые).

3. Характер и тип осадочных, осадочно-вулканогенных и магматических формаций; анализ их локализации в определенных структурах, связь с оруденением.

4. Особенности развития геосинклинально-складчатых областей и их крупных элементов (характер строения фундамента геосинклиналей и условия их заложения; форма геосинклинальных прогибов; степень проявления различных стадий развития складчатых областей и время проявления; условия превращения геосинклинали в складчатую область — характер инверсии). Характерная приуроченность определенных рудных формаций к тем или иным структурным элементам геосинклинально-складчатых областей.

5. Особенности проявления оруденения в пространстве, характер типовых металлогенических и рудных зон (площадей) с развитием в них месторождений строго определенных формаций.

6. Геофизические данные о строении и составе тектоносферы (мощность земной коры, положение поверхности Мохоровичича и т. д.).

7. Специфика геохимического облика рудоносных структур по данным региональной геохимии.

В общем случае эти признаки необходимо учитывать и при классификации, и при выделении региональных рудоносных структур на платформах, срединных массивах и в областях тектоно-магматической активизации, соответственно учитывая специфику развития каждой из этих главнейших структур земной коры и внося изменения в четвертую группу признаков, указанных выше.

Значительную сложность представляют выделение и классификация металлогенических и рудных зон в пределах металлогенических провинций (областей) и рудных поясов. В основу их выделения и классификации следует положить признак рудных формаций, т. е. при установлении таких рудоносных структур прежде всего следует учитывать особенности размещения определенных групп месторождений, формирующихся в строго определенных тектонических условиях.

Как правило, в пространственном расположении металлогенических и рудных зон наблюдается крайне сложный рисунок, обусловленный наложением одних зон на другие, а также проявлением в образованиях фундамента (субстрата), на котором развивается данная геосинклинально-складчатая область или область тектоно-магматической активизации, реликтов более древних рудоносных структур. Обычно при таком «переплетении» рудных зон разных типов их положение строго контролируется только свойственными данной зоне факторами.

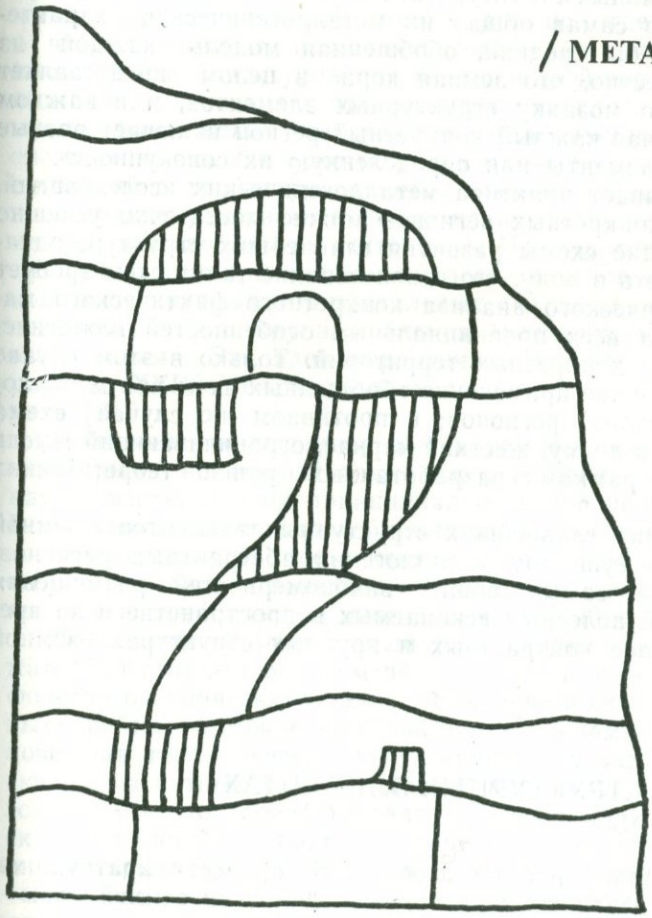
Сонахождение различных металлогенических и рудных зон в пределах одной рудоносной площади позволяет выявить соотношение зон и увидеть, что положение каждой предыдущей по возрасту рудоносной структуры (зоны) в большинстве случаев не влияет на положение соответственно более молодой зоны; каждая из них формируется самостоятельно, и ее положение контролируется присущим только данному типу зон комплексом факторов.

Общую классификацию (и выделение в конкретных регионах) металлогенических и рудных зон, по-видимому, целесообразно проводить по главным стадиям развития главнейших элементов земной коры, выделяя, например, в случае геосинклинально-складчатых областей металлогенические и рудные зоны стадии общего геосинклинального прогибания, стадии общих восходящих движений и главных фаз складчатости и стадии консолидации складчатых структур. При этом следует выделять зоны, характерные для конкретных структур каждой стадии. Кроме того, необходимо выделение рудоносных структур в основании (фундаменте) складчатых областей, а также наложенных металлогенических зон, появление которых связано с процессами тектоно-магматической активизации.

Общая классификация типовых металлогенических зон, наиболее характерных для складчатых областей и платформ, приведена в работе А. И. Семенова, Ю. Г. Старицкого и Е. Т. Шаталова [335].

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ГЛАВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ / МЕТАЛЛОГЕНИЯ РЕГИОНОВ /



В этой части работы рассматриваются основные особенности размещения в пространстве и во времени эндогенных месторождений в главных структурных элементах земной коры. Приводится только самая общая их металлогеническая характеристика — как бы средняя, обобщенная модель каждой из структур. Известно, что земная кора в целом представляет собой сложную мозаику структурных элементов, и в каждом отдельном случае каждый конкретный регион включает разные структурные элементы или определенную их совокупность.

Как показывает практика металлогенических исследований, при анализе конкретных регионов можно достаточно успешно применять общие схемы развития главнейших структур; однако следует иметь в виду, что использование таких схем требует глубокого творческого анализа конкретного фактического материала, учета всех провинциальных особенностей геологического развития конкретных территорий. Только в этом случае возможно успешное применение обобщенных схем при металлогеническом анализе регионов; в противном же случае схема превращается в догму, жесткий каркас, ограничивающий мысль исследователя рамками разработанных ранее теоретических положений.

Металлогения главнейших структурных элементов земной коры — это по существу металлогения абстрактных регионов, характеристика самых общих закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени в наиболее контрастных и крупных структурах земной коры.

ГЛАВА 1

О ГЛАВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Для целей данной работы необходимо привести краткую характеристику основных структурных элементов земной коры — объектов металлогенического анализа. Важно также опреде-

лить, с развитием каких главных тектонических элементов связаны возникновение эндогенных месторождений и их локализация в структурах более низкого ранга.

Принципы выделения и классификации главных структурных элементов земной коры изложены во многих публикациях советских и зарубежных ученых. Они широко освещены в работах А. А. Богданова, М. В. Муратова и В. Е. Хаина [55, 257], В. В. Белоусова [25, 26, 27], Ю. А. Косыгина [180], В. Е. Хаина [413, 415, 418, 419] и др., представления которых использованы автором как для характеристики главных структурных элементов земной коры, так и для понимания общих процессов эволюции тектонических движений и структур на разных стадиях развития нашей планеты.

Современные данные о развитии Земли, ее верхней оболочки — земной коры и верхней мантии в совокупности с большим материалом по геологическому строению отдельных регионов и их металлогении позволяют достаточно обоснованно выделять главные структурные элементы земной коры. За последние полтора десятилетия геотектоника обогатилась принципиально новым фактическим материалом, позволившим начать пересмотр, казалось бы, уже общепризнанных теоретических представлений о характере развития земной коры. Возникли и продолжают развиваться новые концепции — «тектоника плит» или «новая глобальная тектоника». Их сущность в общих чертах сводится к признанию ведущего значения в развитии земной коры крупных горизонтальных смещений литосферы, разделенной на ряд крупных блоков (устойчивых плит) рифтовыми зонами. Эти идеи в различных аспектах были рассмотрены на XXIV Международном геологическом конгрессе в Канаде [265].

Появление новых воззрений в геотектонике расценивается некоторыми исследователями как революция в геологической науке, основанная на принципиально новой информации [414]. В. Е. Хаин считает, что неомобилизм за последнее десятилетие «...превратился из чисто тектонической в общегеологическую теорию и затронул практически все науки о твердой Земле, существенно преобразовав многие из них» [420, с. 3].

Действительно, полученный в последние годы фактический материал главным образом по геологическому строению и морфологии океанических впадин, выявление в их пределах срединных хребтов, осложненных рифтовыми зонами, интереснейшая новейшая геофизическая информация о характере сейсмических и магнитных волн, тепловых потоков и т. д. в рифтовых зонах — все это способствовало созданию новых геотектонических концепций и привело к пересмотру с современных позиций «старых» идей мобилизма. Однако эти общие геотектонические построения, которые иногда считаются наиболее перспективными направлениями современной геотектоники [414],

на данном уровне их разработки не оказывают существенного влияния на выделение главных структурных элементов земной коры. Последние в основном выделяются в прежнем виде — в каком выделялись до появления или, точнее, оформления в самостоятельное научное направление неомобилистских тектонических теорий. Идеи тектоники плит «захватили» многих исследователей, но они все же не коснулись вплотную геологии и тектоники конкретных регионов и в еще большей степени региональной металлогении, которая после «некоторых колебаний» осталась верна старым принципам. Поэтому в настоящее время более правильно говорить о том, что идеи тектоники плит представляют собой определенную основу для создания новой общей теории глобального тектогенеза, а не для решения конкретных геологических и металлогенических проблем и, в частности, установления закономерностей размещения месторождений в масштабах даже крупных регионов. К сожалению, многие положения концепции тектоники плит все еще носят крайне умозрительный характер, полны смелого субъективизма и крайне далеки от конкретного фактического материала. Кроме того, нельзя не заметить одну примечательную особенность сторонников новых идей в нашей стране: они очень смело манипулируют материалом по зарубежным территориям и практически не рассматривают хорошо изученные регионы Советского Союза.

Для исследователя, осуществляющего металлогенический анализ того или иного крупного региона, конечно, очень важно знать — какие теоретические геотектонические гипотезы наиболее приемлемы для объяснения причин геологической эволюции данного конкретного участка земной коры. Совершенно очевидно, что для металлогенического анализа необходимы широкие геотектонические обобщения, касающиеся общих закономерностей развития земной коры и причин, обусловливающих это развитие. Именно такие обобщения должны лежать в основе регионального металлогенического анализа. Однако, к сожалению, в настоящее время геотектонические концепции все еще практически очень слабо влияют на характер металлогенических обобщений и только в некоторых случаях помогают объяснять уже выявленные закономерности размещения месторождений. Поэтому специалисты в области металлогении часто вынуждены «идти собственными путями», разрабатывая, может быть не всегда удачно, при металлогенических обобщениях и некоторые вопросы теоретической геотектоники.

В настоящее время для металлогенического анализа наибольший интерес представляет та часть общей геотектоники, которая занята разработкой учения об основных структурных элементах земной коры.

В этом отношении следует отметить не потерявшую до настоящего времени большого значения работу А. А. Богданова,

М. В. Муратова и В. Е. Хаина [55], в которой рассматриваются вопросы классификации главных структур земной коры. Указанные исследователи наметили четыре группы признаков, по которым следует выделять главные структурные элементы земной коры:

1) характер, темп, ритм, скорость и площадное распространение вертикальных движений;

2) характер и время проявления складко- и разрывообразования, выражающихся в возникновении разнообразных форм тектонических нарушений;

3) характер магматизма;

4) характер метаморфических процессов.

К пятой группе необходимо отнести следующий важный признак — характер металлогенических (рудных) процессов, которые в общем случае служат очень надежными индикаторами тех или иных тектонических структур.

Используя указанные пять признаков и следуя за представлениями В. Е. Хаина, нами, с учетом задач настоящего исследования, выделяются следующие главные структурные элементы земной коры. Прежде всего континентальные и океанические блоки земной коры; континенты в настоящее время представляют основной объект металлогенического анализа. В пределах континентального блока земной коры наиболее контрастными являются подвижные геосинклинально-складчатые области (пояса или зоны) и относительно устойчивые, консолидированные блоки — платформы. Кроме того, нами в особую категорию структур, равную по рангу двум первым, отнесены области автономной тектоно-магматической активизации. Они представляют собой особую категорию главных структурных элементов земной коры и относятся к специфической группе негеосинклинальных подвижных структур.

Под областями автономной тектоно-магматической активизации нами понимаются регионы (блоки земной коры), прошедшие в ранние периоды своей геологической истории геосинклинальную стадию развития вплоть до превращения в область завершенной складчатости или платформу; затем после полной консолидации и периода тектонического покоя (время которого в разных областях различно и иногда измеряется несколькими геологическими периодами) они подвергались воздействию качественно новых тектонических процессов, не связанных с формированием на соседних площадях геосинклинально-складчатых областей.

Эта категория структур близка к выделяемым В. Е. Хаиным внутриматериковым эпиплатформенным орогенным поясам (ЭПОП), которые он относит в самостоятельную группу крупнейших структурных элементов земной коры [415, с. 279]. В. Е. Хаин устанавливает несколько типов эпиплатформенных орогенных поясов (ЭПОП), полагая, что к периокеаническим и

интракратонным ЭПОП применимо название областей автономной активизации [415, с. 269]. По В. Е. Хаину, эпиплатформенные орогенные пояса — это «подвижные пояса в пределах континентов, характеризующиеся абсолютным преобладанием интенсивных поднятий и соответственно средне- и высокогорным рельефом, обладающие сводово-глыбовой структурой, большой (тысячи километров) протяженностью и значительной (сотни, иногда более тысячи километров) шириной, возникшие на месте территорий, развивавшихся в течение длительного (сотни млн. лет) времени в условиях платформенного режима» [415, с. 266]. Как следует из этого определения, эпиплатформенные орогенные пояса в понимании В. Е. Хаина действительно близки по особенностям развития к областям автономной тектоно-магматической активизации.

В последнее время негеосинклинальным подвижным структурам земной коры уделяется особое внимание [240]. В связи с этим отметим, что среди областей тектоно-магматической активизации, развивающихся на жестком консолидированном субстрате, следует различать области тектоно-магматической активизации, возникающие в связи с развитием геосинклинальных прогибов и независимо от них. Ранее этот вопрос обсуждался М. С. Нагибиной [259] и автором [458]. М. С. Нагибина отчетливо показала различия наложенных тектонических структур, связанных с процессами активизации и ревивации, подчеркнув, что процессы ревивации представляют собой явления тектонической перестройки консолидированных структур в связи с развитием одновозрастных геосинклиналей, тогда как процессы активизации не имеют связи с последними и автономны в своем проявлении.

Можно считать, что в настоящее время в истории континентальных структур земной коры процессы тектоно-магматической активизации проявляются весьма широко и контрастно и их существование является общепризнанным. Однако многие исследователи еще не одинаково понимают их роль, масштабы и взаимосвязь с геосинклинальными режимами. Нередко отрицается автономный (самостоятельный) характер проявления процессов тектоно-магматической активизации, что связано в большинстве случаев с рассмотрением фактического материала в рамках ограниченных по площади регионов, где процессы тектоно-магматической активизации проявляются хотя и интенсивно, но, как правило, на фоне геосинклинальных структур или в связи с ними, что уже само по себе субъективно предопределяет связь этих явлений. Только при совместном, комплексном анализе процессов тектоно-магматической активизации, развивающихся в пределах консолидированных складчатых областей, платформ и их щитов и срединных массивов, наиболее контрастно выявляется независимый от геосинклинального процесса (автономный) характер явлений тектоно-

магматической активизации, представляющих собой особую категорию геологических режимов развития земной коры. В сущности к автономной активизации относятся эпиплатформенный, рифтовый и магматической активизации (платобазальтовый) режимы развития материков по В. В. Белоусову [29]. Тем не менее по-прежнему важной задачей ближайших лет является выявление отчетливых, контрастных критериев между образованиями отраженной и автономной активизации, или орогенного эпигеосинклинального режима от эпиплатформенного (по В. В. Белоусову). Решение этой задачи имеет важное значение для региональной металлогении, правильной оценки перспектив на комплекс полезных ископаемых тех или иных регионов.

Необходимо подчеркнуть, что главные структурные элементы земной коры — геосинклинально-складчатые области, платформы и области тектоно-магматической активизации — резко отличаются между собой по особенностям строения тектоносферы. Это один из важнейших аргументов при определении их самостоятельного значения; особенно это касается областей тектонической активизации, для которых (как и для геосинклинально-складчатых областей и платформ) сугубо индивидуальны — мощность коры, относительная роль и состав слагающих ее слоев, физические свойства верхних слоев мантии, характер проявления сейсмических волн в верхней мантии и т. д. [26].

Другим особым структурным элементом земной коры, своеобразие которого отмечалось многими исследователями, являются срединные массивы, под которыми понимаются устойчивые блоки — реликты более ранних платформенных сооружений среди геосинклинальных поясов [413, 415]. Эти структуры, как показано нами ранее [460], характеризуются рядом специфических особенностей тектонического развития, имеют только им присущие черты металлогении и, несмотря на, казалось бы, иногда незначительные размеры и определенную структурную и пространственную соподчиненность с геосинклиналями, могут (а по нашему мнению, должны!) рассматриваться как самостоятельные тектонические структуры первого ранга среди прочих структур континентального блока земной коры. Этот тезис был развит автором ранее [460].

В последние годы все больше исследователей приходят к выводу о том, что срединные массивы — это особого рода структуры первой категории, занимающие промежуточное положение между платформами и геосинклинально-складчатыми областями. В этом отношении интересны многие доклады на совещании (Москва, 1974 г.) по тектонике срединных массивов [394]. В них были отчетливо показаны двойственный характер развития срединных массивов, а также их особое положение в структуре складчатых областей, которые позволяют с учетом

масштабов срединных массивов относить их к структурам типа микроконтинентов.

Рассматривая структурные элементы земной коры, точнее, материков Земли, необходимо обратиться к одному из последних исследований В. В. Белоусова [29], в котором он четко охарактеризовал главные эндогенные режимы, в сущности и определяющие появление различных структур и связанных с ними групп месторождений полезных ископаемых. Используя эти представления В. В. Белоусова как основу для классификации главнейших тектонических элементов земной коры, попытаемся выделить для целей регионального металлогенического анализа наиболее контрастные и общие структуры земной коры, естественно, с учетом личных представлений об особенностях их развития и взаимосвязей. По нашим представлениям, наиболее контрастно, с учетом требований металлогенического анализа, выделяются пять главных структурных элементов земной коры (табл. 7): геосинклинально-складчатые области, платформы, области автономной тектоно-магматической активизации, срединные массивы и океаны. При этом следует отметить, что выделение срединных массивов в самостоятельную группу структур первого ранга может быть не совсем правомерно; однако, учитывая своеобразные металлогенические особенности этих структур, представляется допустимым их отнесение к категории структур первого ранга, в особенности, когда это касается металлогенического анализа ряда зарубежных территорий (например, Западной Европы или стран Ближнего Востока).

Каждая из выделенных структур характеризуется особым режимом развития. Для геосинклинально-складчатых областей наиболее четко выделяются два типа режимов: эвгеосинклинальный и миогеосинклинальный, характеризующиеся заложением геосинклинальных трогов на различной земной коре (океанической и материковой). Парагеосинклинали представляют собой структуры переходного характера между первыми двумя.

Особенности главных типов геосинклинальных областей недавно подчеркнул М. В. Муратов [255]. В развитии геосинклинальных областей он выделяет два этапа: главный и орогенный, а в пределах каждого из них раннюю и позднюю стадии. Отмечая особенности развития геосинклинально-складчатых областей, В. М. Муратов подчеркивает, что в их строении всегда фиксируются три этажа: основание, или фундамент, складчатой области, главный геосинклинальный и орогенный.

Общие вопросы тектонической систематики и соотношения тектонических структур рассмотрены в работе Л. И. Красного [181]. Это исследование должно привлечь внимание геологов, занимающихся выявлением закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в связи с тем, что Л. И. Крас-

ТАБЛИЦА 7

Главные структуры земной коры, режимы и стадии их развития

Главные структуры земной коры	Режимы	Стадии развития
Океанические впадины (океаны)	2. Атлантический 1. Тихоокеанский	
Области («автономной») тектоно-магматической активизации	Эпиплатформенный (сводово-глыбовый)	3. Платобазальтовая 2. Терригенных впадин (рифтовая) 1. Вулканогенных прогибов
Платформы	Молодой платформы	2. Осадочного чехла 1. Складчатого основания
	Древней платформы	2. Осадочного чехла 1. Складчатого основания
Срединные массивы	Срединных массивов	3. Автономной тектоно-магматической активизации 2. «Отраженной» геосинклинальной тектоно-магматической активизации 1. Платформенная
Геосинклинально-складчатые области (пояса)	Жестких рам геосинклиналей	2. Плутогенная (удаленная) 1. Вулканических поясов (пограничная)
	Парагеосинклинальный (промежуточный)	3 и 4 см. ниже 2. Парагеосинклинальная (терригенно-вулканогенно-карбонатная) 1. Догеосинклинальная
	Миогеосинклинальный	3 и 4 см. ниже 2. Собственно геосинклинальная («песчанико-сланцевая») 1. Догеосинклинальная (на материковой коре)

Продолжение табл. 7

Главные структуры земной коры	Режимы	Стадии развития
Геосинклинально-складчатые области (пояса)	Эвгеосинклинальный	4. Консолидации складчатых структур (орогенная) 3. Общих восходящих движений и главных фаз складчатости 2. Собственно геосинклинальная («вулканогенная») 1. Догеосинклинальная (на океанической коре)

ным дан нестандартный обзор геологических структур континентов и обращено особое внимание на структуры негеосинклинального ряда, а также глыбовые структуры, значение которых в локализации оруденения возрастает из года в год.

Таким образом, в пределах земной коры в настоящее время отчетливо выделяются пять крупных групп главных структурных элементов, резко отличных между собой по геологическому развитию, геологическим формациям, известным в их пределах, металлогеническим особенностям и характеру строения тектоносферы: геосинклинально-складчатые области, платформы, области тектоно-магматической активизации, срединные массивы и океаны. В таком порядке и будут охарактеризованы особенности металлогении главных структурных элементов земной коры.

В пределах каждого главного структурного элемента выделяются структуры более низких рангов.

Указанные главные структурные элементы развиваются всегда строго направленно, причем одной из важнейших особенностей их развития является тенденция к усложнению эволюции однотипных элементов во времени. Это ранее отмечал В. Е. Хаин, указывая, что самой общей тенденцией в развитии литосферы в течение геологической истории являлась тенденция к усложнению и нарастанию дифференцированности ее структуры, движений и деформаций во всех измерениях — по вертикали, т. е. в направлении земного радиуса, по площади и во времени [410, с. 38].

Говоря о развитии подвижных геосинклинально-складчатых поясов, следует подчеркнуть, что в настоящее время в геологической литературе практически уже не обсуждается вопрос о полицикличном или моноцикличном развитии подвижных зон земной коры в том понимании, как это предлагал в одной из

последних работ Г. С. Лабазин [206], резко противопоставляя «полициклическое» развитие «направленному» («моноциклическому»). Весь опыт геологических исследований последних лет доказал существование и полицикличных, и моноцикличных геосинклинально-складчатых областей, которые всегда развиваются направленно, от одной стадии (периода) эволюции к другой. Такая направленность геологического развития, тектонических и металлогенических процессов является реальной и характерной особенностью геологических процессов.

Общие закономерности развития тектонических процессов в последнее время удачно освещены В. Е. Хаиным [412], который показал всю их сложность, заключающуюся прежде всего в диалектическом понимании прерывистости — непрерывности, цикличности — направленности и редуцированности геологических явлений.

В заключение отметим следующее. В последние годы собран большой фактический материал, позволяющий говорить об особой роли в развитии указанных главных структурных элементов земной коры глубинных разломов и блоковых структур. Их роль различна для каждого типа структурных элементов и очень велика для областей тектоно-магматической активизации, называемых некоторыми исследователями сводово-глыбовыми. Формирование эндогенных, прежде всего рудных, месторождений неразрывно связано со всем историческим ходом развития конкретных структур земной коры и является следствием этого развития, а сами месторождения — надежными индикаторами различных тектонических процессов.

ГЛАВА 2

07.12.2020

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Геосинклинально-складчатые области представляют собой наиболее хорошо изученные крупные структурные элементы континентального блока земной коры. Именно при исследовании этих структур были созданы первые широкие геологические обобщения, познаны особенности эволюции осадконакопления и магматических процессов. Анализ этих геологических явлений воплотился в конечном счете в достаточно стройное учение о геосинклиналях, сущность которого в настоящее время хорошо известна каждому геологу.

Учение о геосинклиналях — одно из наиболее ранних геологических научных обобщений. Оно возникло более ста лет назад и в настоящее время успешно развивается, обретая новое содержание и большую конкретность отдельных гипотез.

Различные вопросы развития геосинклинально-складчатых областей освещены во многих исследованиях последних лет

[25, 28, 29, 55, 117, 180, 181, 185, 255, 257, 277, 410]. В них показаны пути развития этого учения и его современное состояние. В связи с этим здесь не рассматриваются геологические и тектонические аспекты учения о геосинклиналях, которые были сформулированы значительно раньше первых обобщений по эволюции рудных процессов в этих структурах.

Геосинклинально-складчатые области, или, как их часто называют, геосинклинальные или подвижные пояса, являются важнейшими геотектоническими элементами земной коры. По определению В. Е. Хаина, «геосинклинали (геосинклинальные пояса) это зоны высокой подвижности, значительной расчлененности и повышенной проницаемости литосферы, характеризующиеся на ранних этапах развития преобладанием интенсивных погружений, а на заключительных — интенсивных поднятий, сопровождаемых значительными складчато-надвиговыми деформациями» [415, с. 171]. С развитием геосинклиналей связаны широкое проявление магматических процессов, а также формирование многочисленных месторождений. В общем случае геосинклинально-складчатые области представляют собой крупные металлогенические провинции, а их отдельные структурные зоны — рудные или металлогенические пояса.

Геосинклинально-складчатые области, как правило, имеют сложное внутреннее строение, обусловленное тем, что в их пределах достаточно контрастно выделяется ряд тектонических зон, в пределах которых формируются существенно разные геологические формации. В поперечном сечении идеализированной геосинклинально-складчатой области обычно выделяются следующие крупные тектонические зоны: а) геосинклинальные троги (рвы); б) внутренние зоны; в) краевые (периферические) зоны; г) геосинклинальная рама; д) пограничные разломы. Последние как прослеживаются между зонами, так и отграничивают от геосинклинальной рамы (более древнего складчатого пояса, платформы или срединного массива) складчатую область. В пределах указанных тектонических зон устанавливаются частные структуры, в первую очередь антиклинории и синклинории, а также тектонические нарушения разных порядков.

В процессе превращения подвижной геосинклинали в ороген возникает серия вторичных прогибов; наиболее крупные среди них передовые или краевые прогибы, образующиеся на стыке геосинклинально-складчатых областей и их консолидированных рам. По мнению некоторых исследователей, вдоль краевых швов, на границе заканчивающей свое развитие геосинклинали в консолидированных структурах геосинклинальных рам формируются краевые вулканические пояса.

По набору различных геологических формаций среди геосинклинально-складчатых областей выделяются несколько типов, среди которых наиболее отчетливы миогеосинклинали и эвгеосинклинали. Характеристика этих двух контрастных типов

геосинклиналей приведена во многих работах. Для эвгеосинклиналей типичны карбонатные, карбонатно-сланцевые и вулканогенные формации и проявление основного и ультраосновного магматизма; для миогеосинклиналей — терригенные, песчанико-сланцевые и флишевые формации и гранитоидный магматизм.

В геологической эволюции каждого геосинклинально-складчатого пояса (области) во времени устанавливаются обычно наиболее контрастно три этапа, в совокупности образующих единый тектоно-магматический цикл: первый этап связан с преобладанием нисходящих движений и проявлениям существенно основных и ультраосновных магм и их дифференциатов; второй этап характеризуется преобладанием поднятий и складчатых движений с проявлением гранитных магм; в третий этап происходит консолидация складчатой области и переход ее в молодую платформу.

Для геосинклинальных складчатых областей характерно строго направленное и в то же время цикличное развитие. Некоторые области характеризуются полицикличным развитием с проявлением двух, реже трех сходных циклов развития на одной территории. Следует иметь в виду, что тождественных по особенностям геологического развития геосинклиналей нет. Обычно отдельные этапы и периоды развития в конкретных геосинклинально-складчатых областях проявляются не полностью, некоторые из них иногда выпадают совсем или значительно редуцированы, что и находит отражение в провинциальных особенностях эволюции каждой конкретно взятой геосинклинально-складчатой области.

При металлогеническом анализе конкретных регионов необходимо на основе выделения осадочных и магматических формаций и их возрастных соотношений устанавливать реальные стадии (этапы) развития конкретных геосинклинально-складчатых областей в пределах одного тектоно-магматического цикла, охватывающего время от заложения геосинклинали до ее превращения в консолидированную складчатую область, по структурному состоянию приближающуюся к молодой платформе.

Геосинклинально-складчатые области в общем случае характеризуются вытянутыми линейными очертаниями, что отражено и в рисунке их отдельных тектонических элементов. Изометричная конфигурация геосинклинальных зон встречается значительно реже, обычно в случае мозаично-блокового их строения, когда частные линейные структуры оказываются разобщенными жесткими блоками более древних догеосинклинальных структур. В этом случае иногда наблюдаются торцовые сочленения геосинклинальных прогибов друг с другом по крупным зонам разломов или отдельным жестким блокам, которые они оконтуривают.

Как установлено в последние годы, в формировании геосинклинально-складчатых областей большое значение имеют крупные поперечные разломы, которые расчленяют единую, казалось бы, линейную структуру геосинклинали на ряд сегментов, имеющих специфические особенности развития. Кроме того, блоковые структуры в пределах конкретных геосинклинально-складчатых областей оказывается развиты значительно шире, чем это предполагалось ранее. Это обстоятельство стало особенно очевидным при проведении на территории СССР широкого комплекса региональных геолого-геофизических исследований.

Как отмечалось, с развитием геосинклинально-складчатых областей связано формирование многочисленных и разнообразных месторождений, познание закономерностей размещения которых в пространстве и во времени невозможно без всестороннего анализа геологического развития каждой конкретной геосинклинально-складчатой зоны. Только анализ специфических, провинциальных особенностей развития каждой складчатой области, с учетом тех общих положений, которые были затронуты выше, позволит объективно выявить характерные металлогенические черты каждой из них. Такой подход к металлогеническому анализу геосинклинально-складчатых зон (областей) позволит не только установить более объективно закономерности размещения рудных концентраций в пространстве и во времени и взять эти закономерности «на вооружение» при решении прикладных задач направления поисковых работ, но и будет способствовать более успешному созданию общей теории рудообразования, обязанной отразить эволюцию рудных процессов в связи с развитием главнейших структурных элементов нашей планеты.

О главных особенностях металлогенической эволюции геосинклинально-складчатых областей

Общие принципы регионального металлогенического анализа геосинклинально-складчатых областей впервые были сформулированы в сороковых годах Ю. А. Билибиным [44, 45]. В последующие годы представления этого выдающегося исследователя наиболее полно нашли отражение и дальнейшее развитие в обобщающем труде сотрудников ВСЕГЕИ, посвященном анализу металлогении складчатых областей [204]. В этой работе сформулированы основные принципы регионального металлогенического анализа, рассмотрены вопросы развития геосинклинально-складчатых (подвижных) областей земной коры, охарактеризованы осадочные и магматические формации, а также рудные комплексы и типы эндогенных месторождений, возникающих на разных стадиях развития этих структур; в работе

подробно охарактеризованы структурно-металлогенические зоны и методика составления металлогенических карт.

В сущности для того времени это было наиболее полное исследование, излагающее определенную стройную концепцию металлогенической эволюции геосинклинально-складчатых областей.

Основным принципом регионального металлогенического анализа, положенным в основу этой работы, явилось следующее положение Ю. А. Билибина: «Процессы минерализации, ведущие к возникновению минеральных и, в частности, рудных месторождений, представляют одну из сторон единого и сложного процесса геологического развития земной коры. В своем историческом развитии они теснейшим образом взаимосвязаны с другими сторонами того же процесса, т. е. осадконакоплением, тектоническими движениями (развитием структур), магматической деятельностью и метаморфизмом. Процессы минерализации могут и должны изучаться лишь в своем историческом развитии и в теснейшей взаимосвязи со всеми другими сторонами процесса геологического развития земной коры» [45, с. 13].

Принимая это положение за принципиальную основу металлогенического анализа, коллектив ВСЕГЕИ разработал общую схему распределения минеральных месторождений в ходе геологического развития геосинклинально-складчатых (подвижных) областей земной коры, отразив в ней взаимосвязь различных геологических процессов с образованием рудных месторождений. Именно эта схема являлась «ключом» к расшифровке особенностей металлогении геосинклинально-складчатых областей, которые, по мнению авторов схемы, в общем случае развиваются по одному плану, часто с выпадением или неполным развитием определенных стадий. Такой подход к данной схеме, предполагавшей ее универсальность, не позволял в то время увидеть провинциальные, специфические черты конкретных геосинклинально-складчатых зон. Это обстоятельство на определенном этапе развития металлогенических исследований превратилось в достаточно сильный тормоз, сдерживающий дальнейшее развитие металлогенических исследований и канонизирующий отдельные положения схемы.

Справедливости ради следует отметить, что авторы рассматриваемой схемы указывали на необходимость разработки классификации подвижных (геосинклинально-складчатых) зон земной коры, т. е. на выделение различных типов этих структур в зависимости от различий в истории их геологического развития. Они неоднократно подчеркивали важность этой задачи, но тем не менее своей универсальной схемой отражали четко выраженные представления о развитии всех геосинклинально-складчатых областей земной коры по единому плану.

Схема металлогенического развития этих структур, разработанная Ю. А. Билибиным и коллективом ВСЕГЕИ, широко

известна. Однако в настоящей работе представляется необходимым кратко остановиться на ее основных положениях.

В основу схемы размещения минеральных месторождений подвижных поясов (геосинклинально-складчатых областей) земной коры положены представления о строго стадийном и направленном развитии этих структур.

В развитии каждого пояса (области) выделяются определенные этапы, практически всегда характерные для любого подвижного пояса земной коры. Допускается, что в отдельных регионах одни этапы (и характерные для них геологические образования) развиты полно, другие — выпадают совсем, что и придает конкретным подвижным поясам (геосинклинально-складчатым областям) свою специфику и обусловливает определенные различия в их металлогении.

В развитии подвижных (геосинклинально-складчатых) поясов земной коры устанавливается пять этапов, каждому из которых присущ строго определенный «набор» осадочных и магматических пород и минеральных месторождений (табл. 8).

Начальные и ранние этапы развития подвижных поясов. Обычно эти этапы рассматриваются совместно, так как в развитии они тесно связаны между собой и в некоторых регионах между ними трудно провести отчетливую границу.

Эти этапы характерны для геосинклинального состояния подвижного пояса. В начальные этапы происходят заложение геосинклинали, сопровождаемое сложными колебательными движениями с преобладанием общего опускания, которое временами сменяется поднятиями, локальная складчатость и образование разрывов. Именно в этой обстановке возникают морские карбонатные, часто рифовые, глинисто-сланцевые и кремнисто-яшмовые, иногда с железистыми кварцитами, формации, с которыми связаны месторождения бокситов, сидеритов, марганца, железистых кварцитов и ванадиеносных сланцев.

С проявлением первых складчатых движений и возникновением крупных разрывов связано формирование осадочно-вулканогенных и вулканогенных формаций, среди которых преобладают спилит-кератофировые, андезито-базальтовые и андезито-дацитовые комплексы. В зонах разломов формируются ультраосновные и основные интрузии, представленные перидотитами, пироксенитами, дунитами, норитами и габбро. Гипербазиты сопровождаются месторождениями хромитов, никеля, асбеста, талька и кобальта; с массивами перидотит-габбровой формации связаны месторождения платины, железа и титана.

Дальнейшее развитие геосинклинали сопровождается возникновением разрывных нарушений, усилением вулканической деятельности и образованием малых интрузий основного, среднего и кислого состава. С малыми интрузиями габбро-плагиогранитной формации ассоциируют месторождения железа, меди и кобальта, а с комплексом малых кислых (натровых) интру-

зий (кварцевыми альбитофирами, плагиогранит-порфирами) — барит-медноколчеданные месторождения в спилит-кератофировых комплексах.

Начальные этапы сменяются ранними, причем характерно, что в ранние этапы развития подвижных зон (геосинклинально-складчатых областей) в условиях усиления роли разрывных нарушений и при проявлении мощных складчатых движений, по мнению указанных выше исследователей, возникают осадочные и вулканогенно-осадочные формации, крайне сходные с подобными образованиями начальных стадий. Однако интрузивный магматизм в ранние стадии существенно иной: его проявления начинаются с образования малых интрузий габбро-диоритовой и габбро-граносиенитовой формаций, с которыми тесно связаны медно-железорудные месторождения скарнового типа. Становление малых интрузий сменяется формированием крупных батолитовых тел плагиогранитов, диоритов, монцонитов, сиенитов и габбро, сопровождаемых железорудной, медной, молибденовой и вольфрамовой минерализацией. Образование этих батолитов совпадает с периодом первой главной складчатости.

После формирования плагиогранит-граносиенитовых плутонов вновь происходит консолидация подвижного пояса с широким развитием разрывных нарушений, образованием осадочно-вулканогенных комплексов и становлением малых и субвулканических интрузий кварцевых альбитофиров, гранитов, гранодиоритов, которые сопровождаются колчеданной и близкой по типу полиметаллической минерализацией в спилит-кератофировых толщах. Возможно, с этими же интрузиями связаны гидротермальные месторождения ртути, сурьмы, золота и молибдена.

Средние этапы развития подвижных поясов. Эти этапы охватывают период становления складчатого пояса, характеризующийся дифференцированными колебательными движениями, переходящими в мощную складчатость, превращающую складчатый пояс в консолидированную, слабо мобильную структуру.

Для осадочных комплексов средних этапов особенно характерно развитие флишевых и флишоидных формаций при подчиненном значении осадочно-вулканогенных, песчано-известковых и карбонатных. Формирование мощных песчанико-сланцевых толщ флишоидного типа является одной из характерных черт этого этапа развития геосинклиналей.

Средние этапы знаменуются образованием крупных гранитоидных соскладчатых плутонов (батолитов). Их становлению предшествует образование малых интрузий гранодиоритов, кварцевых диоритов и диоритов (добатолитовых), которые сопровождаются золото-шеелитовой минерализацией, иногда с мышьяком и сурьмой. С крупными плутонами умереннокислых гранитоидов, которые, как правило, имеют сложный состав и

ТАБЛИЦА 8 1-24

Схема развития эндогенной минерализации подвижных поясов.

Этапы развития	Структурное состояние	Преобладающие магмы	Осадконакопление	Разрывные структуры
	Молодая платформа	Базальтовая	Размыв. Кора выветривания	
Конечные	Шельф	Гранитоидные дифференциаты базальтовой магмы	Размыв. Кора выветривания. Наземно-пресноводное, лагунное и континентальное осадконакопление. Наземные вулканогенные толщи	Разрывы Глубокие расколы земной коры и связанные с ними разрывы
Поздние	Складчатый пояс			Разрывы.
				Разрывы. Структуры обрушения
		Андезитовая		Разрывы
		Гранитная		Разрывы. Структуры отслоения

По Ю. А. Билибину [44]

Типы магматических тел	Магматические породы	Месторождения
Эффузии	Базальты. Трахибазальты	Ртуть (?)
Малые интрузии	Видимая связь с магматическими породами отсутствует	1. Свинец — цинк (тип Каратау) 2. Медь (тип Джезказгана) 3. Флюорит 4. Барит. Витерит
	Граниты, аляскиты, щелочные граниты, граносиениты, сиениты (габбро-диабазы) или видимая связь с магматическими породами отсутствует	1. Серебро — кобальт — никель — висмут — мышьяк — (медь) 2. Серебро — свинец — цинк — медь (поздняя группа) 3. Флюорит 4. Барит. Витерит 5. Сидерит. Магнезит 6. Гематит. Марганец
Эффузии	Видимая связь с магматическими породами отсутствует	Ртуть. Сурьма. Мышьяк. Вольфрам
	Андезиты, липариты, трахиты и др. Кв. монцонит-порфиры, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры и др.	Золото. Серебро (близповерхностные). Медь. Молибден. Глинозем (вторичные кварциты)
Малые интрузии	Диориты, сиенито-диориты, гранодиориты, сиениты, граносиениты (нефелиновые сиениты)	Контактово-метасоматические: 1. Магнетит (кобальт) 2. Свинец — цинк (олово)
	Гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, липариты, дациты	1. Серебро — свинец — цинк — (ранняя группа) 2. Мышьяк 3. Олово (сульфидно-касситеритовой формации) 4. Вольфрам
	Диориты, кв. диориты, гранодиориты, гранит-порфиры, лампрофиры и др.	1. Золото 2. Молибден

Продолжение табл. 8

Этапы развития	Структурное состояние	Преобладающие магмы	Осадконакопление	Разрывные структуры
Средние	Складчатый пояс	Гранитная	Размыв	Третья крупная складчатость. Связанные с ней разрывы
			Размыв	Разрывы
Ранние	Геосинклиналь	Андезитовая		Разрывы, структуры обрушения. Разрывы. Структуры отслоения
		Гранитные дифференциаты базальтовой магмы	Размыв	Вторая крупная складчатость. Связанные с ней разрывы
			Морские терригенно-вулканогенные толщи	

Типы магматических тел	Магматические породы	Месторождения
	Граниты: аляскитовые, лейкократовые, аплитовидные, биотитовые, пегматиты, аплиты	Гидротермальные: 1. Олово, вольфрам, висмут, молибден 2. Флюорит Пегматиты; грейзены: 1. Мусковит 2. Литий, бериллий, олово, вольфрам, тантал, ниобий
	Гранодиориты, граниты (кв. диориты)	Контактово-метасоматические: 1. Вольфрам 2. Молибден Гидротермальные: 1. Золото. Мышьяк. Вольфрам (шеелит) 2. Молибден 3. Медь (свинец, цинк)
Малые интрузии	Кв. альбит-порфиры, березиты, кв. диориты и др.	Золото
	Видимая связь с магматическими породами отсутствует	Ртуть. Сурьма. Мышьяк (вольфрам)
Эффузии	Андезиты, липариты, трахиты и др.	Золото. Серебро (близповерхностные)
	Кв. монцонит-порфиры, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры	Медь. Молибден. Глинозем (вторичные кварциты)
Малые интрузии	Кв. альбит-порфиры	Колчеданные залежи (частично жильные): 1. Медь. Пирит 2. Серебро — свинец — цинк 3. Золото — барит
Батолиты. Малые интрузии	1. Габбро, диориты, тоналиты, плагиограниты. 2. Габбро-монциониты, сиениты, граносиениты, граниты (нефелин, сиениты)	Контактово-метасоматические: 1. Магнетит. Медь. 2. (Кобальт. Мышьяк) 3. (Вольфрам. Молибден) Гидротермальные: 1. Золото. Мышьяк. Вольфрам (шеелит) 2. Медь. Молибден
Эффузии. Малые интрузии	Спилиты, порфириты, кератофиры	1. Медь 2. Железо. Марганец

Продолжение табл. 8

Этапы развития	Структурное состояние	Преобладающие магмы	Осадконакопление	Разрывные структуры
Начальные	Геосинклиналь	Базальтовая. Гипербазитовая	Размыв Морские вулканогенно-карбонатные толщи	Первая крупная складчатость. Связанные с ней разрывы
	Древняя платформа	Базальтовая. Гипербазитовая. Щелочная		

характеризуются многофазным образованием (от кварцевых диоритов, гранодиоритов, плагиогранитов до биотитовых и биотит-роговообманковых гранитов), генетически связаны скарновые, главным образом вольфрамовые и молибденовые месторождения.

Со второй крупной группой батолитовых интрузий, представленных крупными плутонами кислых и ультракислых гранитов, ассоциируются грейзеновые и гидротермальные, редкометальные, обычно комплексные молибден-олово-вольфрамовые месторождения, сопровождаемые бериллиевой, литиевой и реже тантало-ниобиевой минерализацией, образующей в некоторых регионах самостоятельные месторождения.

С проявлением мощной складчатости в средние этапы развития и становлением крупных синорогенных гранитных батолитов геосинклинальные зоны из состояния мобильного складчатого пояса переходят в «слабо мобильный складчатый пояс», для которого характерны затухание складчатых движений и усиление роли разрывных нарушений, приводящих к образованию блоковых структур.

Наступают *поздние и конечные этапы развития подвижных (геосинклинально-складчатых) поясов земной коры.* Они характеризуются осадконакоплением в наземных условиях и широким развитием континентальных вулканогенных формаций пе-

Типы магматических тел	Магматические породы	Месторождения
Батолиты. Согласные интрузии	Габбро, нориты, анортозиты, диориты и др.	1. Титаномагнетитовые 2. Медь — никель 3. Медь (вкрапл.)
	Серпентиниты, перидотиты, дуниты, пироксениты, габбро	1. Платина. Платиноиды 2. Хром 3. Титаномагнетит 4. Асбест Гипергенные: 1. Никель 2. Магнезит
Эффузии Малые интрузии	Спилиты. Порфириты. Альбитофиры. Кв. альбитофиры	1. Медь 2. Железо. Марганец
1. Эффузии. Силлы 2. Лополиты 3. Трубы. Штоки. Лакколиты	1. Базальты, диабазы (траппы) 2. Нориты, перидотиты (граниты и др.) 3. Щелочн. перидотиты 4. Нефелин. сиениты 5. Монцониты, сиениты и др.	1. Магнетит. Медь — никель 2. Платина. Хром. Алмазы. Апатит. Титаномагнетит (золото). (Свинец — цинк)

строго состава; среди них выделяются молассовые, пестроцветные континентально-лагунные, соленосные и угленосные, карбонатные и карбонатно-терригенные формации, при этом для конечных этапов главное значение имеют молассовые, андезито-дацитовые и липарито-дацитовые формации. Интрузивный магматизм представлен сложной серией малых, трещинных интрузий (штоков, даек, силлов), отличающихся как по составу, так и по характеру ассоциирующегося с ними оруденения; характерны специализированные интрузивные комплексы, сопровождаемые в одних случаях золото-молибденовым или оловянно-полиметаллическим, а в других свинцово-цинковым, ртутно-сурьмяным, флюорит-баритовым и другим оруденением.

Ю. А. Билибиным и его школой для поздних этапов развития выделяются шесть, а для конечных — два характерных рудных комплекса.

Наиболее контрастно в поздние этапы развития проявляются комплекс послебатолитовых золоторудных месторождений жильного типа в связи с малыми интрузиями кварцевых диоритов и гранодиоритов, а также комплекс оловянных месторождений сульфидно-касситеритовой формации и связанная с ними группа свинцово-цинковых месторождений, ассоциирующихся с малыми, трещинными интрузиями и толщами кислых эффузивов.

На завершающих стадиях поздних этапов формирования складчатых областей возникает серия близповерхностных месторождений, включающая вторичные кварциты, золото-серебряные месторождения и месторождения сурьмы, ртути и мышьяка. По мнению Ю. А. Билибина, эти месторождения сходны с аналогичными месторождениями ранних этапов развития.

В конечные этапы формируются гидротермальные месторождения так называемого западноевропейского типа, куда входят серебро-кобальт-никелевые и связанные с ними полиметаллические месторождения. Вторая группа (комплекс) объединяет телетермальные месторождения флюорита, барита, свинца и цинка, для которых характерно отсутствие видимой связи с магматическими породами.

Такова в общих чертах схема распределения минеральных месторождений в ходе геологического развития подвижных поясов земной коры, предложенная Ю. А. Билибиным и развитая его последователями. Эта схема легла и в основу методики составления металлогенических карт, главным принципом которой явилось выяснение принадлежности конкретных геологических образований к тем или иным этапам развития геосинклинали (с последующим отображением на металлогенической карте соответствующим цветом).

Схема Ю. А. Билибина на определенном этапе развития металлогенических исследований в нашей стране и за рубежом сыграла большую положительную роль. Она позволила впервые систематизировать огромный фактический материал по металлогении геосинклинальных зон и явилась своеобразным трамплином, позволившим перейти в последующие годы к новым металлогеническим обобщениям, развитие которых шло по пути выделения различных металлогенических типов геосинклинально-складчатых областей и отхода от единой универсальной схемы.

В слоих исследованиях Ю. А. Билибин [44] вплотную подошел к выделению различных металлогенических типов геосинклинально-складчатых областей. Им было обосновано существование трех типов минерализации — западноевропейского, дальневосточного и уральского, каждый из которых по существу отвечал и определенному типу геосинклиналей. Ю. А. Билибин [44, с. 51—52] отмечал, что «при анализе магматизма отдельных районов, металлогенических провинций и геосинклинальных зон оказалось, что магматические породы, отвечающие различным этапам тектоно-магматического цикла, развиты здесь очень неравномерно. В одних районах наиболее представлены магматические породы ранних этапов тектоно-магматического цикла при резко ослабленной роли пород средних и поздних этапов цикла. В других районах, наоборот, породы средних этапов цикла представлены наиболее полно при ничтожной в то

же время роли пород ранних этапов. Конечно, соответственным образом разнится и металлогения этих районов.

Столь резкие различия в магматизме и металлогении подобных районов указывали на то, что весь ход их тектоно-магматического развития был различным и что они являются в сущности представителями различных типов геосинклинально-орогенных зон» (разрядка наша.— *А. Щ.*). К сожалению, в дальнейших работах Ю. А. Билибин, а особенно его последователи, по непонятным причинам ушли от разработки указанного выше вопроса, подменив его созданием более детальной, чем у Ю. А. Билибина, общей схемы металлогенического развития универсальной геосинклинали (геосинклинально-складчатого пояса).

Последующие попытки Д. С. Харкевича [421, 422] дать классификацию геосинклиналей для целей металлогенического анализа не восполнили указанные проблемы. Д. С. Харкевич выделил, вслед за С. С. Смирновым и Ю. А. Билибиным, два типа геосинклинально-складчатых областей — верхоянский и уральский, считая, что эти области являются наиболее контрастными типами, резко отличающимися по особенностям проявления рудных процессов. Им же предложено выделение третьего, промежуточного, тянь-шаньского типа складчатых областей.

В отечественной литературе во многих работах универсальная схема Ю. А. Билибина и его некоторых последователей была подвергнута критике. Основные критические замечания были обобщены Г. А. Твалчрелизде [386], который справедливо писал: «Отдавая должное достоинству трудов Ю. А. Билибина, необходимо отметить, что содержание выдвинутых им и его последователями главных этапов развития и металлогенической эволюции подвижных поясов земной коры еще требует разработки с учетом того огромного фактического материала, которым мы располагаем в настоящее время. Только фактический материал должен служить основанием для каждого объективного исследователя» [386, с. 28].

Большой вклад в развитие наших представлений об эволюции рудных процессов в различных по особенностям развития геосинклинально-складчатых областях внесли известные труды В. И. Смирнова, Е. А. Радкевич, М. И. Иициксона, Г. А. Твалчрелидзе, В. А. Кузнецова, И. Г. Магакьяна и многих других. Эти исследователи, используя новый фактический материал, а также учитывая геологические особенности структурных элементов, пошли по пути не только детализации схемы Ю. А. Билибина, но и поставили перед собой трудную задачу выделения различных металлогенических типов геосинклинально-складчатых областей и установления их характерных признаков.

Наиболее полно эти тенденции в развитии металлогенического анализа получили воплощение в исследованиях В. И. Смирнова [340, 342, 343].

В. И. Смирнов [340] выделяет в истории превращения мобильных геосинклиналей в относительно стабильные складчатые области три стадии: а) раннюю, отвечающую периоду прогибания; б) среднюю, соответствующую периоду главных фаз складчатости; в) позднюю, связанную с полным затуханием геосинклинального режима. Проанализировав особенности проявления эндогенного оруденения в различных геосинклиналях по стадиям их развития, он пришел к выводу, что главное значение для их металлогенической характеристики имеют два следующих обстоятельства: интенсивность магматизма ранней собственно геосинклинальной стадии их развития и характер тектонического режима средней стадии в период главных фаз складчатости по схеме обращенного или необращенного превращения геосинклиналей в складчатые области. С учетом этих обстоятельств В. И. Смирнов [340, 342] выделяет четыре типа геосинклинальных зон — A, B, C, D.

Подразделение геосинклинальных зон на металлогенические типы, предложенное В. И. Смирновым более десяти лет назад, не потеряло своего значения до настоящего времени. В главных чертах оно отражает сложную картину металлогенической эволюции геосинклинально-складчатых областей в пределах земной коры, поэтому остановимся на их краткой характеристике.

По В. И. Смирнову [340], геосинклинали типа А характеризуются особенно интенсивным эффузивным и интрузивным магматизмом и металлоносностью ранней стадии их развития. Примером таких геосинклинальных зон служит герцинская геосинклиналь Урала, для которой характерны следующие формации магматических пород и ассоциирующихся с ними рудных месторождений:

а) формация субмаринных эффузивов с серно- и медноколчеданными месторождениями вулканогенных синклинориев;

б) формация гипербазитов с магматическими месторождениями хрома, платины и платиноидов;

в) формация базитов с магматическими месторождениями ильменит-магнетитовых руд;

г) формация плагиогранитов и сиенитов (дифференциаты основных пород) со скарновыми месторождениями железа и меди.

Эти магматические формации и рудные образования возникают в раннюю стадию развития герцинской геосинклинали Урала; в среднюю стадию ее эволюции происходит внедрение гранитных интрузий, с ними связаны пегматитовые, гидротермальные и скарновые месторождения редких металлов, интенсивность проявления которых крайне незначительна по сравнению с процессами магматизма и рудообразования ранней стадии. Поздняя стадия развития герцинской геосинклинали Урала проявилась в эмбриональном виде, с ней, по-видимому, связано

образование небольших месторождений полиметаллических руд и золота, ассоциирующихся с малыми интрузиями и проявляющимися вне связи с магматическими породами.

Геосинклинали типа B отличаются от геосинклиналей типа A интенсивной эффузивной деятельностью на ранних стадиях развития и связанным с ней рудообразованием при резко подчиненном значении глубинного магматизма. Примером таких геосинклиналей, по мнению В. И. Смирнова, является геосинклиналь Малого Кавказа, для ранних стадий развития которой, приходящихся на интервал времени от средней юры до палеогена, характерно формирование мощных субмаринных вулканогенных толщ. С образованием этих толщ связано возникновение медноколчеданных залежей, сопровождаемых свинцово-цинковой и баритовой минерализацией. Из интрузивных образований в раннюю стадию развития геосинклинали наиболее развиты ультраосновные и основные интрузии, сопровождаемые рудопроявлениями хрома и платины. Именно «эмбриональное» развитие ультраосновных интрузий и связанных с ними магматических месторождений является характерной отличительной особенностью геосинклиналей типа B при весьма интенсивном проявлении ранних вулканогенных формаций и достаточно широком развитии гидротермальных молибденовых и медно-молибденовых месторождений, возникающих в средней стадии развития геосинклиналей.

Геосинклинали типа C выделяются В. И. Смирновым по слабому раннему магматизму и металлогении и обращенной схеме их превращения в складчатые области, с инверсией осевого прогиба в центральное поднятие в период главных фаз складчатости средней стадии развития. В этом типе гесинклиналей ранняя стадия отличается необычайно слабым магматизмом и практическим отсутствием месторождений. Для средней стадии характерны пегматитовые и грейзеновые месторождения олова и вольфрама, ассоциирующиеся с крупными плутонами гранитов; с гранитами повышенной основности связаны шеелитоносные скарны.

С пестрым спектром малых интрузий, возникающих на завершающих стадиях развития геосинклинали, ассоциируются месторождения полиметаллов, висмута, меди и флюорита, а также телетермальные месторождения ртути, сурьмы, свинца и цинка, проявляющиеся часто без связи с магматизмом.

По мнению В. И. Смирнова, к геосинклиналям типа C принадлежат герцинские подвижные зоны Южного Тянь-Шаня и Восточного Казахстана, мезозойские складчатые сооружения Забайкалья. Для геосинклиналей этого типа характерно нарастание интенсивности оруденения от ранних к поздним стадиям их развития.

Геосинклинальные зоны типа D, к которому относятся киммерийские геосинклинали Приморья и Верхоянья, развиваются

по плану, унаследованному от предыдущих геологических циклов. В раннюю стадию развития геосинклинали эндогенное оруденение практически не проявляется; в среднюю оно представлено весьма сложным комплексом месторождений, из которых золото-шеелитовые (более ранние) и оловянно-вольфрамовые (более поздние) проявляются наиболее широко и контрастно. В позднюю стадию возникают в связи с трещинными интрузиями месторождения олова, вольфрама, свинца, цинка и кобальта. В. И. Смирнов подчеркивает, что максимальная интенсивность оруденения геосинклинально-складчатых зон этого типа связана с малыми интрузиями, образующимися как на ранних этапах средней стадии, так и на поздней стадии их развития.

Характерные особенности развития и металлогении указанных четырех типов геосинклиналей приведены в табл. 9.

В. И. Смирнов наряду с установлением четырех характерных металлогенических типов геосинклиналей показал, что металлогения каждого типа может быть дифференцирована по особенностям проявления оруденения в пределах определенных тектонических элементов, среди которых им были выделены, как наиболее характерные, следующие типы структур: а) геосинклинальные рвы, б) внутренние зоны, в) срединные массивы, г) периферические зоны, д) геосинклинальные рамы, е) пограничные разломы. Каждая из этих структур характеризуется строго специфическим набором рудных месторождений, различным в геосинклиналях разных типов [342].

Г. А. Твалчрелидзе в более поздних работах [390, 392] для целей регионального металлогенического анализа расчленяет геосинклинальные зоны на ряд главных типов. Среди эвгеосин-

клиналей он выделяет четыре типа: офиолитовые, вулканогенные, терригенные и сланцевые; все эти типы геосинклиналей расположены во внутренних зонах геосинклинальных систем, но характеризуются различными осадочными, магматическими и рудными формациями. Так, офиолитовые эвгеосинклинали характеризуются интенсивным геосинклинальным магматизмом ультраосновного и основного состава, сопровождаемым месторождениями хрома и титаномагнетитов; для вулканогенных эвгеосинклиналей типичны медноколчеданные, платиновые, скарново-магнетитовые, золоторудные и иногда полиметаллические месторождения, ассоциирующиеся с раннеорогенным базальтоидным магматизмом и геосинклинальным вулканизмом. Сланцевые эвгеосинклинали с мощным проявлением геосинклинального вулканизма в сланцевых толщах характеризуются колчеданно-полиметаллическим и медно-пирротиновым оруденением; терригенные эвгеосинклинали с отложениями монотонных песчанико-сланцевых толщ и развитым гранитоидным магматизмом сопровождаются характерными пегматитовыми, грейзеновыми и жильными месторождениями олова, вольфрама, молибдена, а также свинца, цинка, урана и золота.

По мнению Г. А. Твалчрелидзе, эндогенная металлогения миогеосинклиналей проявлена слабо в виде небольших месторождений полиметаллов, сурьмы и ртути. Таким образом, Г. А. Твалчрелидзе также пошел по пути более дробной металлогенической характеристики геосинклиналей, выделения среди эвгеосинклиналей нескольких типов, при этом он подразделил геосинклинали с терригенными, песчанико-сланцевыми формациями на две группы, резко отличающиеся друг от друга набором рудных месторождений.

Однако такое подразделение геосинклиналей на терригенные и сланцевые во многом спорно и, по нашему мнению, недостаточно аргументировано; образование колчеданных месторождений в геосинклинальных сланцевых толщах в восточных районах страны всегда предшествует формированию пегматитовых и грейзеновых месторождений, а не происходит одновременно в разных по типу геосинклиналях. Поэтому выделение в самостоятельные типы сланцевых и терригенных эвгеосинклиналей, как это предлагает Г. А. Твалчрелидзе, вызывает определенные возражения.

Значительные исследования в последние годы выполнены по металлогении эвгеосинклиналей, о чем, в частности, свидетельствуют многие доклады на VIII Всесоюзном металлогеническом совещании (1976 г.), посвященном доорогенной металлогении указанных структур [105, 106, 472]. На совещании большое внимание было уделено рудоносным вулканогенным структурам эвгеосинклиналей, среди которых отчетливо выделяются две группы: раннегеосинклинальные вулканические пояса линейного типа, закладывающиеся на океанической коре

ТАБЛИЦА 9 Г-25

Характерные особенности металлогении геосинклиналей различных типов. По В. И. Смирнову [342]

Стадия развития	Тип геосинклинали			
	A	B	C	D
Стадии развития				
Ранняя	Весьма отчетлива	Отчетлива	Весьма отчетлива	На типичные стадии не распадаются
Средняя	Отчетлива	„	То же	
Поздняя	Неотчетлива	„	„ „	
Условия превращения в складчатую провинцию				
Инверсия средней стадии развития	Частичная инверсия поздних флишевых прогибов	Частичная инверсия поздних флишевых прогибов	Полная инверсия	Без инверсии
Магматические процессы				
Ранняя стадия				
Вулканические породы	Весьма развиты	Развиты	Слабые	Слабые
Гипербазиты и базиты	То же	Слабые	„	„
Плагиограниты и сиениты	„ „	Развиты	Отсутствуют	Отсутствуют
Средняя стадия				
Гранодиориты	Развиты	Весьма развиты	Весьма развиты	Развиты
Граниты	Слабо развиты	Развиты	Развиты	Развиты

Поздняя стадия				
Малые интрузии	То же	То же	Весьма развиты	Весьма развиты
Вулканические породы	„ „	„ „	Развиты	Развиты
Интенсивность рудообразования				
Ранняя стадия	Весьма развиты	Развиты	Отстутствуют	Отсутствуют
Средняя стадия	Развиты	„	Развиты	Развиты
Поздняя стадия	Весьма слабое	Проявлены	„	Весьма развиты
Генетические типы месторождений				
Ранняя стадия				
Колчеданные	Весьма развиты	Развиты	Отсутствуют	Отсутствуют
Магматические	То же	Не развиты	„	„
Скарновые	„ „	Развиты	„	„
Средняя стадия				
Скарновые	Весьма развиты	Развиты	Развиты	Слабо развиты
Пегматитовые и грейзеновые	Не развиты	Слабо развиты	„	Не развиты
Поздняя стадия				
Гидротермальные	То же	То же	„	Весьма развиты
Пометальный состав руд				
Типоморфные металлы	Железо, титан, хром, медь (золото)	Медь, молибден, свинец, цинк	Свинец, цинк, олово, вольфрам, молибден (медь, золото)	Олово, золото (свинец, цинк)

и характеризующиеся развитием медноколчеданных месторождений и натровым характером вулканических серий, и наложенные на кору континентального типа вулканогенные пояса с развитием калинатровых вулканических формаций и ассоциирующихся с ними колчеданно-полиметаллических месторождений. Последние, хотя и относятся в настоящее время к эвгеосинклиналям, представляют собой, по-видимому, особую категорию рудоносных структур, которые только условно могут быть отнесены к вторичным (или регенерированным) эвгеосинклиналям; скорее это самостоятельный тип ранних геосинклинальных прогибов (парагеосинклиналей).

Наиболее четко металлогения доорогенного этапа эвгеосинклиналей охарактеризована В. И. Смирновым [353, 354].

В. И. Смирнов, анализируя варианты доорогенной металлогении, отметил чрезвычайную трудность расшифровки этих процессов, так как они являются продуктами самой ранней стадии геологического цикла, на которые накладываются все последующие стадии геосинклинального и платформенного этапов. Он показал, что все образования доорогенного магматизма и металлогении формируются только на ранней стадии геосинклинального развития. Среди них наиболее контрастно выделяются три группы магматических формаций и связанных с ними месторождений, на приуроченность которых к ранним стадиям развития геосинклиналей указывал еще Ю. А. Билибин; а) перидотитовая с магматическими месторождениями хромитов и платиноидов; б) габбровая с магматическими титаномагнетитовыми месторождениями; в) базальт-андезит-липаритовая с колчеданными месторождениями меди, свинца и цинка. Указанные комплексы формируются в узких, трогового типа зонах, часто выполненных мощными субмаринными осадочно-вулканогенными толщами, которые иногда не испытывают инверсии в период главных фаз складчатости. Состав доорогенных магматических образований свидетельствует о их принадлежности к производным базальтовой магмы.

В И. Смирнов [353, 354] намечает четыре возможных варианта формирования офиолитовых поясов с характерной для них орогенной металлогенией: а — в геосинклинальных трогах, зарождающихся на континентальной коре; б — в геосинклинальных прогибах, возникающих на океанической коре; в — в зонах раздвигов континентальной коры на гипербазитовом основании; г — в зонах Беньофа. В. И. Смирнов рассмотрел каждую из моделей, указав, что фактическому геологическому материалу по конкретным офиолитовым поясам в большей степени соответствует модель заложения и развития эвгеосинклиналей в связи с глубинными структурами типа зон Беньофа. Он показал, что доорогенные офиолитовые комплексы существенно отличаются от магматических пород дна современных океанов.

Проблема образования офиолитовых поясов эвгеосинклиналей и их рудоносности остается все еще весьма спорной по многим позициям.

Это убедительно показало VIII Всесоюзное металлогеническое совещание, посвященное проблемам доорогенной металлогении. Его труды [106] отразили не только всю сложность проблемы, но и имеющиеся разночтения в ряде вопросов, несовершенство применяемой терминологии и необходимость более дробных классификаций, казалось бы сходных, процессов; в частности, со всей определенностью стал вопрос о современной классификации эвгеосинклиналей, выделении их типов, возможно рядов, в первую очередь в зависимости от характера субстрата, на котором закладываются эвгеосинклинали разного типа. Необходимо, очевидно, дать более четкое понятие термина «эвгеосинклиналь» и, возможно, некоторые регионы не рассматривать как типичные представители таких структур (например, Рудный Алтай).

Необходимо отметить, что в эвгеосинклиналях разных типов в связи с широко развитым в них колчеданным оруденением достаточно детально изучены рудоносные вулканогенные формации и их структуры; разработаны классификации вулканогенных структур рудных районов и полей [62, 446, 471, 472].

Показано, что металлогеническая специализация колчеданоносных провинций зависит от строения основания эвгеосинклинальных зон и отражает характер и степень взаимодействия мантийного вещества с породами верхних частей тектоносферы.

Для целей металлогенического анализа эвгеосинклиналей важно иметь в виду подчеркнутую еще Ю. А. Билибиным специфическую особенность их развития, выражающуюся в полицикличном характере эволюции этих структур, повторяемости во времени сходных рудоносных вулканогенных формаций в условиях их миграции как по оси геосинклиналей, так и в поперечном направлении.

Особенности металлогенического развития разных типов геосинклинально-складчатых областей рассмотрены в монографии «Основные закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на территории СССР» [282]. В этой работе содержится большой фактический материал по металлогении отдельных регионов, свидетельствующий о том, что отдельные геосинклинально-складчатые области развиваются не одинаково. Для каждой из них характерны свои провинциальные особенности, выражающиеся как в выпадении отдельных стадий, так и, наоборот, в широком развитии и даже повторении в особенности ранних стадий развития геосинклинально-складчатых областей, что находит отражение и в их металлогенических особенностях. Среди геосинклинально-складчатых областей устанавливаются моно- и полицикличные по развитию со

сложной, несколько раз проявляющейся однотипной минерализацией.

В. И. Смирнов [343], анализируя особенности металлогении полицикличных геосинклинально-складчатых областей, выделяет среди них три группы: а) полицикличные пояса с ограниченным развитием ранних циклов (Урал), б) полицикличные пояса с ограниченным развитием поздних циклов (Забайкалье и Монголия) и в) полицикличные пояса полного развития (Кавказ).

Для полицикличных геосинклинально-складчатых областей характерно последовательное смещение в пространстве магматизма и рудообразования в процессе их развития, при этом повторяемость магматических и металлогенических событий происходит в такого типа структурах только при условии повторяемости стадий геологического развития. В. И. Смирнов подчеркивает, что «если при миграции складчатости закладываются новые геосинклинальные троги, то в них на смену отжившему или отживающему вулканизму тыловых трогов начнут формироваться новые вулканогенные комплексы пород и ассоциированные с ними колчеданные месторождения» [343, с. 53].

Особенности металлогении полицикличных областей детально рассмотрены на примере Алтае-Саянской провинции В. А. Кузнецовым [186], которым отчетливо показано бицикличное развитие Горно-Алтайской геосинклинальной области (рис. 15). Изучение и выявление полицикличных геосинклинально-складчатых областей представляют определенные трудности и связаны прежде всего с надежной документацией геологического возраста рудоносных формаций. С достоверным определением возраста формаций связано в первую очередь и формирование представлений о неоднократном проявлении сходных рудных месторождений.

В настоящее время совершенно очевидно, что одна из главных задач, которую следует решать при анализе металлогении геосинклинально-складчатых областей, — это объективный анализ особенностей развития этих структур и в первую очередь выделение определенных, конкретных для каждого региона стадий развития этих структур, документируемых специфическими комплексами осадочных, магматических и рудных формаций. Анализ развития конкретных геосинклинально-складчатых областей должен быть лишен прежнего догматизма, сводившего эволюцию складчатых зон к обязательным, присущим всем областям стадиям развития.

Как совершенно справедливо подчеркнул В. Е. Хаин, именно отсутствие такой гибкости со стороны последователей основоположника советской металлогении Ю. А. Билибина, предложившего пятичленную схему деления тектоно-магматического цикла, привело к резкой (порой излишне резкой) критике этой схемы другими специалистами [415, с. 205].

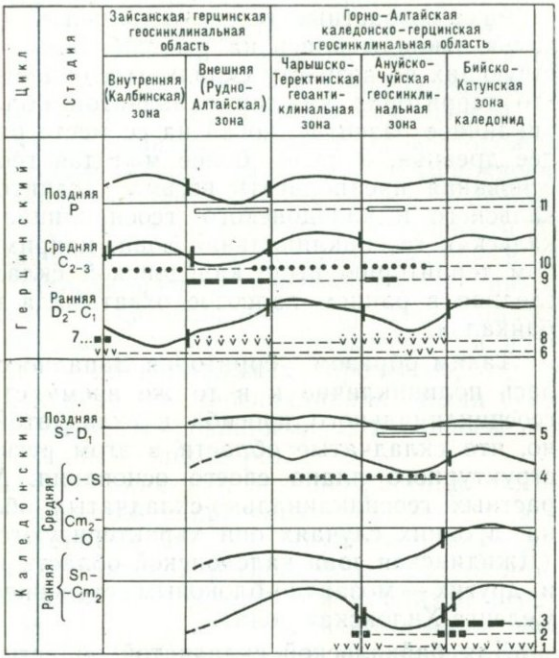


РИС. 15.
Схема эволюции бициклической Горно-Алтайской каледонско-герцинской системы. По В. А. Кузнецову.

Каледонский цикл: *1* — излияния спилит-диабазовых лав нижнего кембрия (рудопроявления железа, марганца, меди); *2* — интрузии гипербазитов (хромиты, асбест, тальк); *3* — интрузии габбро-плагиогранитного лебедского комплекса (скарновые месторождения железа, золота); *4* — гранитные интрузии шапшальского комплекса (пегматиты, вольфрам-молибденовое оруденение); *5* — габброидные интрузии таджилинского и других комплексов, дайки диабазов (малые интрузии) Герцинский цикл: *6* — излияния основных и средних лав (девон); *7* — интрузии гипербазитов (Зайсанская область); *8* — излияния существенно кислых лав (вулканогенно-осадочные месторождения железа) и внедрение девонских гранитоидов; *9* — интрузии гранитоидов яломанского, змеиногорского и других комплексов (железное, медное и полиметаллическое оруденение); *10* — интрузии слюдяных гранитов калбинского комплекса (редкометальные и вольфрамомолибденовые месторождения); *11* — малые интрузии теректинского и других комплексов (колчеданно-полиметаллические и другие месторождения)

Сложность познания особенностей развития конкретных геосинклинально-складчатых областей состоит прежде всего в том, что развиваются они не стандартно, каждая имеет свои характерные черты развития, при этом отдельные стадии развития часто выпадают или проявляются в редуцированном виде. Наиболее часто это присуще начальным и заключительным стадиям развития тектоно-магматического цикла.

Примером таких областей, развивающихся по разному плану, с проявлением различных стадий, служат изученные автором разновозрастные складчатые области Западного Забайкалья. В этом регионе отчетливо выделяются три разновозрастные складчатые зоны: байкальская или протерозойская, каледонская или раннепалеозойская и герцинская или позднепалеозойская. Они закономерно сменяют одна другую с северо-запада на юго-восток, как бы наращивая и обрамляя в виде широких полос Сибирскую платформу. Эти складчатые области, отличаясь друг от друга особенностями геологического развития, соответственно характеризуются и специфическими чертами металлогении.

Разновозрастные геосинклинальные зоны Западного Забайкалья закладывались на раздробленных структурах предшествующих по возрасту складчатых областей. Это говорит о том, что территория каждой складчатой области проходила полициклическое развитие, когда на ее месте развивались сначала более древняя, а затем более молодая геосинклинали. Имеются основания предполагать весьма значительные размеры байкальского и каледонского геосинклинальных прогибов; байкальская геосинклинальная зона, например, занимала в прошлом территорию ныне каледонской складчатой области, а последняя в раннем палеозое охватывала восточные районы Забайкалья.

Таким образом, территория Западного Забайкалья развивалась полициклично и в то же время строго направленно (от геосинклинального прогиба к складчатой области). Характерно, что складчатые области в этом регионе не наследовали структурного плана своего основания. Морфология разновозрастных геосинклинально-складчатых областей также различна: в одних случаях они характеризуются линейно вытянутым (Джидинская зона каледонской области и герцинская область), в других — мозаично-блоковым строением (раннепалеозойская Селенга-Хилокская зона).

Для байкальской складчатой области наиболее характерны слюдоносные пегматиты, реже редкоземельные, встречающиеся также в протерозойских блоках фундамента каледонской складчатой области. С развитием каледонской складчатой области связано возникновение хромитовых рудопроявлений, осадочно-вулканогенных месторождений колчеданного типа (в связи с раннекембрийскими вулканическими формациями), титановых магматических месторождений, осадочных, осадочно-гидротермальных и гидротермальных месторождений железа, реже марганца, а также гидротермальных рудопроявлений свинца, цинка, золота и меди.

Наиболее интенсивно в каледонской складчатой области рудные месторождения проявляются на ранних стадиях формирования геосинклинальных прогибов, когда возникают колчеданные, хромитовые и титаномагнетитовые месторождения. Оруденение поздних стадий развития в каледонской складчатой области практически не проявлено.

Для герцинской складчатой области, наоборот, типичны рудные месторождения, формирующиеся на поздних стадиях развития этой структуры. Они представлены редкометальными, вольфрамовыми, оловянными, оловянно-вольфрамовыми и молибденовыми месторождениями разных формаций. Особое место среди герцинских месторождений занимают месторождения золота, связанные с малыми добатолитовыми интрузиями диоритов.

Важной особенностью металлогении Западного Забайкалья является широкое проявление эндогенных месторождений, связанных с процессами мезозойской тектоно-магматической активизации и наложенных на протерозойские и раннепалеозойские консолидированные структуры. С явлениями мезозойской активизации связано формирование многочисленных месторождений молибдена и вольфрама и эпитермальных месторождений и рудопроявлений флюорита, барита, золота, ртути и сурьмы.

Краткая характеристика металлогенической особенности Западного Забайкалья приведена с целью показать наличие в одном крупном рудном регионе разновозрастных геосинклинально-складчатых областей, с резко отличными характерными особенностями. Они развивались строго направленно при полицикличном проявлении геосинклинальных процессов, отдельные стадии которых в конкретных геосинклиналях были существенно разными и иногда редуцированными. Эти вопросы подробно изложены в специальной работе [457].

Результаты изучения металлогении разновозрастных геосинклинально-складчатых областей в пределах Советского Союза, которое проводилось во многих случаях крупными научными коллективами с целью составления региональных металлогенических карт и сопровождалось всесторонним анализом огромного фактического материала, а также изложенные выше обобщения Ю. А. Билибина, В. И. Смирнова и других исследователей позволили сделать следующие выводы.

1. Геосинклинально-складчатые области, являясь крупными металлогеническими провинциями, развиваются всегда строго направленно от ранних стадий заложения геосинклинальных трогов до возникновения складчатой области и ее превращения в молодую платформу. Устанавливаются моноцикличные и полицикличные области; в конкретных регионах некоторые стадии развития редуцированы или проявляются в «эмбриональном» развитии.

Эти особенности находят отражение и в проявлениях рудных процессов, что позволяет выделить несколько металлогенических типов геосинклинально-складчатых областей.

2. Одинаковых по характеру геологического и металлогенического развития геосинклинально-складчатых областей нет; каждая конкретная складчатая область имеет свои специфические провинциальные черты, выявление которых особенно важно для целей металлогенического анализа конкретных регионов.

3. Выделение типов геосинклинально-складчатых областей и установление металлогенических особенностей разных тектонических элементов геосинклиналей являются важным достижением последних лет, развивающим представления Ю. А. Билибина и его школы.

Выявление различных металлогенических особенностей отдельных тектонических элементов необходимо для познания ре-

гиональной металлогенической зональности, которая фиксируется в продольном и поперечном разрезах геосинклинально-складчатых областей и характерна для различных стадий их развития.

В последние годы в связи с изучением металлогении геосинклинально-складчатых областей возникли новые вопросы, дальнейшее исследование которых должно способствовать развитию и углублению представлений о металлогении этих структур. К таким вопросам относятся более глубокое изучение металлогении пограничных структур, в частности активизированных рам геосинклинально-складчатых областей и вулканических поясов. Другая группа вопросов касается применения новых положений неомобилистского варианта теории геосинклиналей к металлогеническому анализу.

Металлогения активизированных рам геосинклинально-складчатых областей

Одним из интересных вопросов металлогении геосинклинально-складчатых областей является познание закономерностей размещения эндогенных месторождений в консолидированных структурах их обрамления, активизированных наложенными тектоническими процессами в результате развития геосинклиналей. Речь идет о металлогении так называемых зон (или областей) отраженной тектоно-магматической активизации. В общей проблеме металлогении геосинклинально-складчатых областей эти вопросы изучены еще очень слабо. Между тем полученный за последние годы фактический материал позволяет говорить о необходимости более полного и всестороннего изучения процессов отраженной тектоно-магматической активизации, с которыми оказываются связанными в практическом отношении рудные месторождения.

Исследование явлений отраженной тектоно-магматической активизации переплетается с изучением вулканических поясов и их металлогении, а также времени, природы и места проявления этих своеобразных наложенных вулканических структур. Поэтому в настоящее время исследование металлогении активизированных рам геосинклинально-складчатых областей приобретает еще более широкое значение, позволяет иначе, чем это представлялось еще совсем недавно, подойти к анализу металлогении крупных регионов, не привлекавших должного внимания исследователей с позиций выявления в их пределах новых типов месторождений.

При рассмотрении металлогении активизированных рам геосинклинально-складчатых областей нами будут разобраны две группы вопросов, тесно связанных между собой, но в то же время отличающихся рядом специфических особенностей. Первая группа вопросов связана с металлогенической характеристикой

разных типов областей отраженной активизации, а вторая — с выяснением места и характера проявления континентальных наложенных вулканических поясов и их металлогении и правомерности отнесения этих своеобразных крупных рудоносных структур к областям отраженной магматической активизации.

Два типа областей отраженной тектоно-магматической активизации и их металлогения. Области отраженной тектоно-магматической активизации возникают обычно в жестких бортовых частях геосинклиналей, образуя сравнительно узкие — до 100—150 км шириной — зоны (области), вытянутые вдоль простирания геосинклинальных трогов.

Среди областей отраженной тектоно-магматической активизации в настоящее время выделяются две принциально различные группы (типы). В первую входят активизированные области геосинклинальных рам, в пределах которых проявляются магматические образования и эндогенные месторождения, по времени синхронные и сходные с соответствующими образованиями, возникшими в смежных геосинклинальных прогибах. Особенности металлогении активизированных зон такого типа впервые охарактеризованы В. И. Смирновым [340] еще в 1962 г. Им было показано, что в бортах некоторых геосинклиналей наряду с месторождениями предшествующих эпох известны месторождения, сингенетичные и синхронные оруденению, возникающему в пределах геосинклинали на разных стадиях ее превращения в складчатую область. Среди таких месторождений встречаются хромитовые в связи с шовными, дайкообразными интрузиями дунит-перидотитового состава (Родопский, Анатолийский, Иранский срединные массивы); реже — небольшие оловянно-вольфрамовые месторождения пегматитового и гидротермального типов, связанные с плутонами гранитоидного состава, которые формируются в момент проявления главных фаз складчатости.

Наиболее широко в пределах областей отраженной активизации проявляются месторождения, возникающие в поздние стадии геосинклинальных зон. К ним, в частности, относятся молибденовые и медно-молибденовые месторождения, а также связанные с ними золоторудные и полиметаллические, ассоциирующиеся с трещинными интрузиями гранодиоритового состава (Забайкалье, Горный Алтай, Родопский и Кокчетавский срединные массивы и др.).

По интенсивности проявления оруденения В. И. Смирнов [340] подразделил области отраженной тектоно-магматической активизации на четыре типа:

1) интенсивно активизированные с проявлением магматизма и оруденения всех стадий, известных в данной геосинклинали;

2) ограниченно активизированные с проявлением магматизма и оруденения одной из стадий данной геосинклинали;

3) слабо активизированные с проявлением телетермального оруденения поздней стадии развития;

4) с отсутствием изверженных пород и эндогенных месторождений данного цикла развития.

В. И. Смирнов [340] отмечает, что магматизм и оруденение в активизированных бортах геосинклиналей распространяются на различные расстояния. Мощность зоны распространения оруденения, — подчеркивает он, — не зависит от размеров геосинклиналей и лежит в сравнительно узких пределах от 95 до 65 км. Такая приуроченность месторождения к узким, вытянутым вдоль бортов геосинклиналей зонам крайне характерна для областей отраженной активизации и резко отличается от изометричных областей развития магматизма и оруденения, свойственных областям автономной активизации.

Определенный вклад в изучение областей (зон) отраженной (сопряженной) тектоно-магматической активизации внесен коллективом ВСЕГЕИ [113, 283]. Среди таких областей обосновано выделение двух подклассов: пограничных и удаленных, занимающих различную геолого-структурную позицию и обнаруживающих ряд отличий в наборе геологических формаций, морфотектонических особенностях и металлогении. На основе анализа преобладающего участия в строении областей активизации тех или иных структурно-формационных комплексов произведено их расчленение на плутоногенные, вулканогенные, метаморфогенные и седиментогенные структурные типы.

Для областей сопряженной пограничной (пригеосинклинальной) активизации характерны их размещение в ближайшем обрамлении геосинклинальных систем, совпадение импульсов активных восходящих или нисходящих движений с соответствующими периодами (инверсионных, инверсионно-орогенных или нисходящих) движений в геосинклиналях, нередко отсутствие четких границ с эпигеосинклинальными сводово-глыбовыми сооружениями, формационная близость внегеосинклинальных магматических проявлений соответствующим образованиям в соседних геосинклинальных зонах. Областям сопряженной активизации удаленного подкласса свойственны значительное удаление от рам геосинклиналей, черты большей независимости структурного плана, наличие отчетливой латеральной зональности, выраженной прежде всего в формационной специфике магматических проявлений, отсутствие четкой зависимости характера колебательных движений от таковых в геосинклиналях. Все это сближает последние в значительной степени с областями автономной активизации. Среди областей плутоногенной и вулканогенной отраженной активизации по характеру ведущего эндогенного оруденения выделены следующие металлогенические типы: вольфрам-молибден-оловорудный, вольфрам-молибденовый (иногда с другими редкими металлами и флюоритом), железорудно-редкометальный, редко-

метально-редкоземельный, редкометально-полиметаллический, медно-молибденовый, редкоземельно-нефелиновоурудный, золото-редкометальный, золото-серебряный, полиформационный золоторудный.

Вторая группа (тип) областей отраженной тектоно-магматической активизации изучена еще недостаточно. В ее состав входят активизированные рамы геосинклиналей, в пределах которых проявляются магматизм и эндогенные месторождения, неизвестные в смежных геосинклинальных прогибах, но синхронные определенным стадиям развития последних. В первую очередь в эту группу следует отнести рудные образования некоторых наземных вулканических поясов, образующихся в краевых частях геосинклиналей. Это прежде всего молибденовые и медные месторождения, ассоциирующиеся с умереннокислыми по составу слагающих их образований субвулканами, а также небольшие месторождения железа, золота и реже вольфрама. Примером таких рудоносных вулканических поясов могут служить девонский вулканический пояс Центрального Казахстана, вулканические пояса в обрамлении Иранского срединного массива и др. К рудным образованиям, возникающим в областях отраженной активизации, по-видимому, следует относить комплексные осадочно-гидротермальные месторождения свинца, цинка, марганца и железа так называемого атасуйского типа, известные в Успенской рудной зоне Казахстана.

В некоторых областях отраженной активизации второго типа, которые характеризуются, как правило, большей стабильностью и жесткостью, что приводит к крупным глыбовым перемещениям в геосинклинальной раме, возникают никеленосные перидотит-пироксенитовые интрузии (Северный Казахстан, Тува, Северное Прибайкалье) и щелочно-основные и щелочные комплексы (Кокчетавская глыба, Южный Тянь-Шань, Байкальская горная страна и др.), сопровождаемые редкоземельной минерализацией [249]. Эти магматические и рудные образования во многом близки образованиям платформенного типа и формируются в областях отраженной активизации на завершающих стадиях развития смежных геосинклинально-складчатых областей. Основные особенности областей отраженной тектоно-магматической активизации и их металлогения отражены в табл. 10.

Процессы отраженной тектоно-магматической активизации относительно локальны и всегда связаны с явлениями, происходящими в смежных геосинклиналях, а рудные месторождения, возникающие в связи с этими процессами, в большинстве случаев сингенетичны и синхронны, проявляющимся в складчатых областях. Как отмечалось нами ранее [249], тектонические движения, вызывающие и сопровождающие отраженную активизацию, проявляются только в верхних горизонтах земной коры и

ТАБЛИЦА 10

Основные особенности областей
отраженной тектоно-магматической активизации и их металлогения

Главные признаки	Магматизм и месторождения синхронны и сходны с известными в смежных геосинклинальных зонах	Магматизм и месторождения неизвестны в смежных геосинклинальных зонах, но синхронны определенным стадиям их развития
Характер субстрата (фундамента), на котором развиваются процессы активизации	Разнотипные образования более древних консолидированных складчатых зон, реже платформ и срединных массивов, слагающие жесткие рамы геосинклинальных прогибов	Наиболее характерны докембрийские и каледонские структуры
Специфика тектонического развития; характер и тип наложенных структур	Связь с развитием смежного геосинклинального прогиба; стадийность, синхронная стадиям развития геосинклинали. Развитие наложенных структур связано с геосинклинальными тектоническими формами. Образование в бортах некоторых геосинклиналей, по-видимому в инверсионную стадию, вулканических поясов. Развитие разломов; умеренные глыбовые движения	
Осадочные и вулканогенные формации	Мелководно-морские, реже континентальные пестроцветные, синхронные соответствующим геосинклинальным формациям. Разнообразные вулканогенно-осадочные, образующие вулканические пояса в бортах геосинклиналей (в основном андезитовая и андезито-базальтовая)	
Магматизм	Синхронен, сходен с геосинклинальным. Ранние стадии — трещинные гипербазиты; средние — крупные плутоны гранитов и гранодиоритов; поздние — трещинные интрузии от габбро до лейкократовых гранитов	Расслоенные, перидотит-пироксенитовые и норитовые интрузии, щелочно-основные и щелочно-ультраосновные породы, щелочные и нефелиновые сиениты (по Н. П. Михайлову)

Продолжение табл. 10

Главные признаки	Магматизм и месторождения синхронны и сходны с известными в смежных геосинклинальных зонах	Магматизм и месторождения неизвестны в смежных геосинклинальных зонах, но синхронны определенным стадиям их развития
Роль и характер разрывных нарушений	Усиление роли разрывных нарушений по мере развития смежной геосинклинали. Развитие разломов в относительно узкой «пригеосинклинальной» зоне. Возникновение протяженных разломов по краям геосинклинальной рамы	Значительные вертикальные перемещения отдельных блоков вдоль крупных разломов
Металлогенические особенности	Месторождения, синхронные и сходные с развитыми в смежной геосинклинали. В разных регионах преобладают месторождения определенных стадий развития геосинклинальных зон	Магматические (Ni), карбонатитовые (TR), нефелиновых сиенитов (близкие месторождениям платформенного типа), медно-молибденовые; возможно, золоторудные
Предполагаемый разрез тектоносферы	Мощный сиалический слой с погруженной мантией	Уменьшенная мощность сиалического слоя за счет увеличения базальтового; глубокая мантия
Примеры	Восточное Забайкалье (Au — Mo пояс), Горный Алтай (W, Mo), Турция (Cr)	Кокчетавская глыба (Ni), Новая Зеландия (TR), Ирано-Пакистанский вулканический пояс (Mo, Cu)

с глубинными процессами, происходящими в мантии, очевидно, не связаны.

Для рудных месторождений областей отраженной тектоно-магматической активизации всегда характерны их связь с трещинными приповерхностными интрузиями и локализация самих рудных тел в четких зонах тектонических нарушений.

В областях отраженной тектоно-магматической активизации рудные месторождения практически всегда приурочены к непротяженным рудным зонам (20—25 км), которые часто располагаются вдоль разломов, поперечных бортовой части геосинклинальных прогибов. Намечается, что наиболее благоприят-

ная обстановка для локализации крупных месторождений создается в районах пересечения крупных продольных и поперечных менее масштабных тектонических нарушений. В таких узлах пересечения разломов обычно и сосредоточены рудоносные интрузии, в ряде регионов имеющие кольцевое строение.

О вулканических поясах и их металлогении. В настоящее время нет единой точки зрения на природу вулканических поясов. Их структурное положение трактуется различными исследователями неодинаково. По мнению одних [135, 181], вулканические пояса представляют собой совершенно самостоятельные крупнейшие структурные элементы земной коры; по мнению других [13, 401, 411, 459 и др.], формирование некоторых вулканических поясов связано с развитием более молодых геосинклинально-складчатых областей.

Г. А. Твалчрелидзе [392], рассматривая металлогенические особенности главных типов вулканических поясов, подчеркивает, что наиболее контрастно среди вулканических поясов Земли выделяется три типа: первичногеосинклинальные, вторичногеосинклинальные и пояса областей тектоно-магматической активизации. Он отмечает интересную особенность проявления рудных месторождений в этих структурах, указывая, что для первого типа поясов особенно характерны медноколчеданные месторождения, второго — медноколчеданные и меднопорфировые, а третьего — медно-молибденовые порфирового типа.

Первичногеосинклинальные вулканические пояса закладываются на океанической коре и соответствуют эвгеосинклинальным зонам или внешним островным дугам. Медноколчеданные месторождения обычно связаны с кислыми дифференциатами основного магматизма. Они характерны для эвгеосинклиналей различного возраста (от архея до неогена включительно).

Вторичногеосинклинальные вулканические пояса закладываются на континентальной коре в результате регенерации эвгеосинклинального режима; эти пояса возникают только в фанерозое, для них типично значительное расчленение на зоны поднятий и погружений; в последних в связи с вулканогенными комплексами формируются месторождения медноколчеданных руд типа Куроко, а в зонах поднятий в связи с орогенными интрузиями кислых калиевых гранитоидов возникают штокверковые медно-молибденовые месторождения.

Вулканические пояса областей тектоно-магматической активизации сопровождаются сложной гаммой рудных образований, среди которых медно-молибденовые штокверкового типа в некоторых структурах занимают ведущее место.

Опыт анализа металлогенических особенностей вулканических поясов на основе рассмотрения закономерностей проявления только двух формаций — медноколчеданной и меднопорфировой, предпринятый Г. А. Твалчрелидзе, представляет опреде-

ленный интерес прежде всего как попытка исследования вулканических поясов и их типизации исходя из характеристики и выявления отличий связанных с ними рудных образований. По существу конечное звено эндогенных процессов — рудные месторождения становятся важным «инструментом» расшифровки тектонической принадлежности конкретных вулканических поясов. Установлению металлогенических критериев последних и посвящено интересное исследование Г. А. Твалчрелидзе [392], которое является существенным вкладом в изучение рудоносности вулканических поясов и их комплексную (геологическую, тектоническую, металлогеническую) характеристику.

В. Е. Хаин [411, 413] полагает, что вулканические пояса представляют собой особую разновидность краевых швов. Краевые вулканические пояса, по его мнению, располагаются по границе областей, продолжающих геосинклинальное развитие, и областей только что его закончивших.

Общей особенностью многих вулканических поясов являются их наложенный характер и независимость развития по отношению к консолидированным структурам фундамента, на котором они развиваются [260, 448]. Положение таких поясов в пространстве определяется крупными разломами, а также связью со смежными геосинклинальными зонами, в бортовых частях которых они и располагаются. По мнению ряда исследователей, именно такая структурная позиция характерна для Охотско-Чукотского, Прибайкальского, Восточно-Чукотского, Центрально-Казахстанского, Северного и Южного Иранских вулканических поясов [207, 411, 425, 459].

Именно такое положение вулканических поясов в общей структуре земной коры, их расположение в бортовых частях более молодых геосинклинально-складчатых областей позволяют рассматривать эти своеобразные наложенные структуры, возникающие в континентальных условиях, как структуры, формирующиеся в результате процессов отраженной тектоно-магматической активизации, проявляющихся в условиях консолидированных рам геосинклинальных прогибов.

Ранее эти вопросы были проанализированы нами на примере вулканических поясов некоторых срединных массивов [460]. Отмечалось, что в пределах некоторых срединных массивов на границе с окружающими их геосинклинально-складчатыми областями возникают иногда вулканические пояса, прослеживаемые на многие сотни километров. Такие структуры наиболее четко устанавливаются в пределах Иранского, Анатолийского и Колымского срединных массивов. На Омолонский и Охотский массивы вулканические образования Охотско-Чукотского пояса накладываются с резким поперечным несогласием, почти полностью перекрывая эти структуры.

Во всех случаях срединные массивы независимо от их размеров и положения по отношению к геосинклинальным проги-

бам могут рассматриваться как бортовые части последних. Это отчетливо видно на примере крупного Иранского массива, который с севера и юго-запада оконтурен узкими зонами вулканических поясов, образующихся в краевых частях массива, на сочленении с альпийскими геосинклинальными прогибами. Сходное структурное положение имеет Уяндино-Ясачинский вулканический пояс, возникший в юго-западной краевой части Колымского срединного массива вдоль крупных разломов в зоне сочленения с Яно-Колымской складчатой зоной.

Во времени вулканические пояса в пределах срединных массивов формируются синхронно с развитием смежной геосинклинальной области. На примере южной части Иранского массива устанавливается, что развитие юго-западной части Иранского вулканического пояса в пределах Пакистана синхронно развитию геосинклинальных прогибов. Так, когда в раннюю, собственно геосинклинальную стадию развития в пределах геосинклинального прогиба происходит формирование субмаринных вулканогенных комплексов и ультраосновных и основных интрузий, в жестких структурах обрамления в пределах массива возникают покровы наземных основных и кислых эффузивов, входящих в состав вулканического пояса. Формирование последнего происходит и далее синхронно с развитием геосинклинали; особенно интенсивно проявляются интрузивные образования трещинного типа в пределах вулканического пояса в среднюю стадию развития геосинклинальных прогибов, в период главных фаз складчатости. Сходное развитие предполагает В. Т. Матвеенко [229] и для Уяндино-Ясачинского вулканического пояса Колымского срединного массива.

Таким образом, в пределах срединных массивов формируются вулканические пояса, которые образуются во внутренних краевых частях массивов в виде протяженных наложенных структур, сложенных разнообразными по составу и строению вулканическими образованиями, возникающими в континентальных условиях жесткого обрамления геосинклинальных прогибов и по времени сопоставимыми с ранней и средней стадиями развития геосинклиналей. Рассматривая металлогению вулканических континентальных поясов, следует иметь в виду, что их формирование в бортовых частях геосинклинальных прогибов в связи с процессами отраженной тектоно-магматической активизации представляет, очевидно, одну из нескольких благоприятных структурных обстановок, в которых возникают наземные вулканические пояса [460].

Действительно, исследователи, изучающие этот вопрос [207, 411, 425], выделяют вулканические пояса, формирующиеся в связи с орогенным развитием складчатых областей (первая группа), и вулканические пояса, обязанные проявлению процессов автономной тектоно-магматической активизации (вторая группа). Говоря об автономном характере развития некоторых вул-

канических поясов, П. М. Хренов, А. А. Бухаров и И. В. Гордиенко [426] считают, что на это очень важное обстоятельство указывают следующие признаки:

а) развитие пояса на гетерогенном (геосинклинальном или платформенном, или на том и другом) фундаменте, в связи с этим резко наложенный характер структурного этажа пояса на структуры фундамента;

б) значительный перерыв во времени от консолидации фундамента до начала формирования пояса;

в) резкое несогласное положение сходных геологических формаций, слагающих пояс и находящихся в его фундаменте (например, молассовой формации конечных стадий геосинклинальных зон в фундаменте и молассовой формации, слагающей структурный этаж вулканического пояса).

Указанные исследователи считают, что потенциальная рудоносность таких автономных вулканических поясов обусловлена их связью с длительно развивающимися разломами различной глубины залегания, являющимися проводниками и генераторами магм и определяющими условия формирования и движения рудоносных гидротерм. В последнее время П. М. Хренов и А. А. Бухаров [425] выделили четыре типа наложенных вулканических структур, связанных с системами крупных глубинных разломов;

а) пояса, расположенные в зоне краевого шва и наложенные на краевые части платформы и складчатой области (Прибайкальский);

б) пояса, расположенные в зоне краевого шва (Енисейский);

в) пояса, размещающиеся в краевой части платформ (Учуро-Майский);

г) пояса, приуроченные к краевому шву и краевой части складчатой зоны (пояса Станового нагорья, Охотского-Чукотский).

Кроме того, эти исследователи по отношению к этапам развития геосинклинальных зон выделяют три типа поясов: а) возникающие вслед за замыканием геосинклинали (Прибайкальский), б) возникающие после громадного перерыва (Становое нагорье) и в) пограничные пояса, расположенные на границе областей завершенной складчатости и продолжающей свое развитие геосинклинали (Охотско-Чукотский пояс).

Нами рассматривается металлогения вулканических поясов, формирующихся только в бортовых частях геосинклинально-складчатых областей в связи с проявлением процессов отраженной тектоно-магматической активизации. К таким поясам в первую очередь относится, по-видимому, крупнейший Охотско-Чукотский вулканогенный пояс. Для этой региональной вулканической структуры, протягивающейся на расстояние более 3500 км, как и для вулканических поясов

Камчатки, характерны следующие особенности, позволяющие рассматривать их в качестве своеобразных элементов геосинклинально-складчатых областей, развивающихся на смежных территориях в жестких бортах геосинклинальных прогибов [13]:

1) наложенный характер поясов и их независимость по отношению к структурам фундамента, на котором они развиваются;

2) расположение в бортовых частях смежных геосинклинальных зон и тесная пространственная связь с последними при подчиненности простираний обеих структур;

3) определенное закономерное перемещение (миграция) вулканических поясов во времени вслед за геосинклинальными прогибами.

Металлогении вулканических поясов Тихоокеанского сегмента нашей страны было уделено значительное внимание на Всесоюзном симпозиуме, состоявшемся во Владивостоке в 1976 г. [86]. В докладах этого совещания была подчеркнута важная роль вулканических поясов как крупных металлогенических структур и на конкретных примерах по многим районам и провинциям охарактеризованы особенности проявления золотого, оловянного, ртутного и других типов оруденения. Было показано, что Охотско-Чукотский вулканический пояс представляет собой уникальную наложенную на гетерогенное основание металлогеническую структуру, в изучении которой в последние годы сделан большой шаг вперед как по линии выявления локальных особенностей размещения различных типов месторождений, так и в познании вещественного состава вулканических формаций, тектонического строения всей структуры в целом и ее отдельных частей. Значительным достижением являются расшифровка многих вулкано-тектонических структур по комплексу признаков и установление особенностей проявления оруденения по отношению к этим структурам. С еще большей четкостью, чем ранее, было показано значение разрывных нарушений в локализации оруденения, роль блокового строения в архитектуре поясов и неоспоримая роль сложных вулкано-тектонических построек в размещении оруденения, так же как и влияние субстрата (фундамента) на характер вулканических построек и особенности локализации месторождений [86].

Известно, что такие наложенные на жесткий субстрат континентальные вулканические пояса в ряде регионов представляют собой крупные рудоносные провинции, характеризующиеся развитием определенных групп эндогенных месторождений. Среди последних ведущее значение имеют месторождения, принадлежащие к следующим рудным формациям (по Н. П. Лаверову): меднопорфировой, турмалин-халькопиритовой, сульфидно-касситеритовой, полиметаллической с серебром и золотом и эпитермальной золото-серебряной.

Н. П. Лаверов [207] для месторождений континентальных вулканических поясов приводит следующие отличительные особенности:

а) месторождения имеют тесную связь с континентальными вулканическими и вулкано-интрузивными комплексами кислых и средних — субщелочных пород, образованных в условиях консолидированной земной коры в связи с широким развитием разломов;

б) характеризуются незначительным разрывом во времени между рудообразующими процессами, приведшими к образованию месторождений, и завершающей стадией вулканической деятельности;

в) в локализации месторождений большое значение имеют структуры вулканического происхождения, где руды приурочены к полям разгрузки напорных гидротермальных систем вулканических кальдер или зонам крупных разломов купольных поднятий, вмещающих близповерхностные интрузивы;

г) месторождения формируются в условиях малых глубин и характеризуются в общем случае многостадийным характером образования, когда продуктивные стадии минерализации проявляются в условиях умеренных температур порядка 250—150° С;

д) структуры месторождений характеризуются часто сложными штокверкообразными телами прожилковых и прожилково-вкрапленных руд и ложными жильными системами, приуроченными к жерлам вулканических аппаратов.

Вопрос о формировании рудоносных вулканических поясов в пределах жесткого обрамления консолидированных рам геосинклинальных прогибов требует дальнейшего всестороннего изучения. Однако уже сейчас очевидно, что в бортовых частях геосинклиналей на разных стадиях развития последних в континентальных условиях активно проявляется вулканическая деятельность, сопровождаемая процессами рудообразования и приводящая к формированию крупных вулканических поясов. Поэтому в задачу металлогенического анализа конкретных геосинклинально-складчатых областей в настоящее время должно входить изучение особенностей развития и проявления оруденения в их бортовых частях, особенно в тех случаях, когда сочленение последних с жесткими структурами обрамления проходит по «типу краевых швов». Эти условия для возникновения вулканических поясов, по-видимому, наиболее благоприятны. Установление времени формирования вулканических образований в рамках геосинклиналей и их соответствие определенным этапам (стадиям) развития геосинклиналей являются необходимым элементом металлогенического анализа наряду с изучением характера, времени образования и закономерностей размещения различных рудных месторождений, связанных с вулканогенно-плутоническими формациями таких наложенных структур.

О металлогении пограничных структур. В связи с вулканическими поясами как краевыми структурами находятся вопросы металлогении пограничных краевых швов (разломов), возникающих на сочленении геосинклинально-складчатых областей и жесткого их обрамления. Эти, а также вопросы металлогении краевых пограничных зон активизированных платформ освещены в отечественной литературе наиболее полно в работах В. И. Казанского и В. М. Терентьева [142, 143]. Ими показано, что пограничные зоны длительного «сквозного» развития отвечают устойчивым ограничениям платформ и характеризуются унаследованностью структурного плана с докембрийского времени.

Таким длительно существующим краевым швам соответствуют рудные пояса с разнообразным оруденением (Sn, W, Pb, Zn, Mo, Au, F и др.). Сопряженные с краевыми швами разломы проникают в глубь платформ, способствуя образованию рудных районов. Пограничные зоны относительно кратковременного развития наложены на платформы и связаны во времени с отдельными стадиями формирования смежных геосинклинальных областей.

По мнению В. И. Казанского [142], особый интерес представляют краевые рудоносные разломы (швы) в кристаллическом фундаменте платформ; для таких разломов характерны не только «сверхдлительное» развитие, но и определенная структурная вертикальная зональность, учитывать которую необходимо при поисковых работах. В то же время следует признать, что металлогения краевых пограничных структур, в том числе и краевых тектонических швов, изучена еще недостаточно, особенно пограничных структур между такими крупными тектоническими элементами, как геосинклинально-складчатые области и платформы и разновозрастные складчатые области. Важное значение имеет изучение пограничных структур, возникающих на сочленении структур геосинклинально-складчатых областей и крупных срединных массивов.

Важным, практически новым направлением в изучении пограничных структур явились интересные обобщения В. М. Терентьева [395] и А. Л. Ставцева [371].

А. Л. Ставцев [371] дал четкую характеристику тектоническим особенностям и металлогении краевых чешуйчато-надвиговых зон в обрамлении древних платформ, выделив их в особый тип металлогенических структур «пограничного типа». По его мнению, эти структуры характеризуются отчетливой приуроченностью к границам платформ и ярко выраженной линейностью. Для них типично развитие надвигов и покровов, образующих простые и сложные чешуи, вытянутые согласно общему простиранию зон.

Металлогенические особенности таких зон определяются сочетанием месторождений, типичных для платформ и зон сопря-

женной тектоно-магматической активизации. По существу краевые чешуйчато-надвиговые зоны представляют собой периферические части древних платформ, испытавших интенсивную тектоно-магматическую активизацию, связанную с процессами, происходящими в смежных геосинклинально-складчатых областях. А. Л. Ставцев выделяет несколько металлогенических типов таких краевых структур: верхоянский, скандинавский и гималайский. Верхоянский тип характеризуется экзогенными и телетермальными железорудными и свинцово-цинковыми месторождениями, свойственными осадочным чехлам древних платформ. Для скандинавского типа присущи месторождения древних щитов, в первую очередь железорудные, а также колчеданные и магматические месторождения, характерные для эвгеосинклиналей. Гималайский тип определяется месторождениями древних щитов, осадочных чехлов платформ и структур магматической активизации: здесь возникают своеобразные тела слюдоносных метаморфогенных пегматитов, связанных, по В. М. Моралеву, с процессами тектоно-магматической активизации.

Выделение краевых чешуйчато-надвиговых зон в особую категорию металлогенических пограничных структур, относящихся к областям сопряженной тектоно-магматической активизации, в настоящее время приобретает определенное практическое значение и требует более тщательного металлогенического анализа пограничных зон активизированных платформ. В частности, в этом аспекте особое значение приобретает анализ западного склона Урала и его сочленения с Русской платформой.

Всесторонний металлогенический анализ пограничных структур Урала, где в последние годы выявлены чешуйчато-надвиговые зоны краевого типа, по-видимому, позволит по-новому подойти к расшифровке закономерностей локализации оруденения его западного склона и, возможно, выявить новые перспективы, связанные с открытием месторождений различной тектонической принадлежности, в частности стратиформных полиметаллических.

В. М. Терентьев показал, что пограничные зоны обрамления Сибирской платформы, расположенные на стыке платформы с примыкающими складчатыми областями, наиболее отчетливо подразделяются на три группы (типа); все они относятся к структурам негеосинклинального ряда, для которых ведущим типом тектонических движений являются сводово-глыбовые перемещения по зонам регенерированных разломов.

К первой группе пограничных активизированных структур обрамления Сибирской платформы относятся системы палеорифтов, включающих цепи грабенообразных впадин мезозойского и кайнозойского возраста и блоки раздробленного субстрата в их бортовых частях (Джугджуро-Становая зона). Вто-

рая группа охватывает системы глубинных разломов типа краевых структурных швов, в пределах которых выделяются: а) мощные зоны магматической проницаемости с развитием вулканогенных наложенных поясов, трещинных интрузий батолитового типа и малых массивов (Джугджур, Прибайкалье); б) зоны милонитизации, катаклаза и сжатых («сухих») трещин (Присаянье); в) изолированные межгорные приразломные впадины — грабены (Ангаро-Канский блок); г) краевые поднятия сводово-глыбового строения (Енисейский кряж, Сэтте-Дабан). Третий тип зон включает системы внутренних региональных, в том числе глубинных, разломов за пределами структурного шва с развитием приразломных зон дислокаций и сводово-блоковых структур с массивами центрального типа (Алдан ?). С указанными структурами связана интенсивно проявляющаяся эндогенная минерализация (Cu, Pb, Zn, Mo, Fe, F, Ba, TR), при этом, как правило, в пределах зон возникает полицикличное оруденение, формирующееся на различных стадиях развития пограничных структур.

Неомобилистский вариант теории геосинклиналей и металлогенический анализ. Концепция новой глобальной тектоники, или тектоники плит, взаимосвязи которой с металлогенией будут рассмотрены в главе «Новая глобальная тектоника и металлогения», находит отражение в создании нового варианта теории геосинклиналей. Эти вопросы были рассмотрены подробно В. Е. Хаином [414, 416], который отметил, что с позиции тектоники плит геосинклинали образуются в результате растяжения континентальной коры с возникновением коры океанического типа.

Намечаются черты сходства между эвгеосинклиналями с их офиолитовыми поясами и определенными зонами современных океанов; в дальнейшем развитии геосинклиналей происходит в обстановке растяжения — сжатия с образованием зон Беньофа, вдоль которых происходит поглощение океанической коры с возникновением рудоносных андезитовых и гранитоидных кислых магм, отщепляющих рудные погоны в различных частях над зонами Беньофа. Последующая стадия развития геосинклиналей характеризуется интенсивным сжатием с образованием складчатости, надвигов и шарьяжей.

В. Е. Хаин [414] полагает, что «новая глобальная тектоника в общем справилась с геосинклиналями». Действительно, подход с позиций концепции тектоники плит к созданию новой модели геосинклинального процесса позволил, используя новые идеи и новый фактический материал, интерпретировать старые положения и данные. Поэтому осторожное и критическое применение неомобилистского варианта теории геосинклиналей открывает определенные новые возможности иного подхода к выявлению закономерностей размещения месторождений при региональном металлогеническом анализе.

В этом плане из многочисленных публикаций, появившихся в последнее время, пожалуй, наибольший интерес представляют работы В. И. Смирнова [346, 354] и Л. П. Зоненшайна, М. И. Кузьмина и В. М. Моралева [118], в которых на конкретном фактическом материале обсуждается возможность применения новых идей глобальной тектоники к вопросам региональной металлогении.

В работах В. И. Смирнова [354] представлена модель возможной взаимосвязи геосинклинального магматизма и металлогении в связи с зонами Беньофа. Показано, что эти зоны могут служить прообразом планетарных структур, контролировавших магматизм и металлогению геосинклинальных областей протерозоя, мезозоя и кайнозоя (Тихоокеанский пояс, Кавказ, Урал). По мнению В. И. Смирнова, на ранней стадии геосинклинального развития вдоль зон Беньофа, которые закладываются на коре океанического типа, образуются эвгеосинклинальные зоны со свойственными им базальтоидным магматизмом и рудообразованием; в средние стадии уже на коре континентального типа со стороны висячего бока структуры Беньофа возникают миогеосинклинальные зоны с характерными для них магматизмом и «гранитной» металлогенией. На поздних стадиях развития геосинклиналей, формирующихся таким образом, возникают независимые разноориентированные рудоконтролирующие разломы, как пересекающие эвгеосинклинальную и миогеосинклинальную зоны, так и проникающие в жесткие структуры примыкающих платформ.

В случае полигеосинклинального развития регионов предполагается, что последующие зоны Беньофа и образующиеся в связи с ними геосинклинали возникают, смещаясь во фронтальную часть более ранней зоны Беньофа; при этом процессе и возникают сходные по составу формаций, но имеющие разный возраст рудоносные зоны. Важно подчеркнуть, что, по мнению В. И. Смирнова, такое объяснение общего процесса металлогении геосинклиналей не исключает рассмотрение моделей планетарного рудообразования иного типа.

Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин и В. М. Моралев [118] на основе палеотектонических реконструкций и анализа размещения магматических пород в эвгеосинклиналях Центрально-Азиатского складчатого пояса и Восточной Азии пришли к выводу, что реконструируемая для каждой эпохи магматическая и металлогеническая зональность подчинена одновозрастным эвгеосинклинальным зонам (прежним океаническим бассейнам). Установлено два типа зональности, приуроченной к древним зонам Беньофа. Зональность первого типа характеризуется развитием континентальных вулкано-плутонических комплексов с повышением в глубь континента щелочности магматизма и общим литофильным обликом металлогении со сменой зон Au—Mo, Pb—Zn, Sn—W, Nb—TR (мезозой запада Тихоокеан-

ского кольца, девон и поздний палеозой Центрально-Азиатского пояса). Зональность второго типа связана с образованием над палеозонами Беньофа соответствующих металлогенических зон, характеризующихся халькофильным обликом минерализации: одни зоны возникают на месте прежних вулканических островных дуг, другие — в их тылу на прилежащей континентальной окраине; для первых характерен андезит-базальтовый магматизм, для вторых — плагиогранит-гранитные батолиты.

В плане устанавливается смена зон с медной, затем свинцово-цинковой и золотой минерализацией (ранний палеозой и ранний карбон Центрально-Азиатского пояса). Указанные исследователи полагают, что концепция новой глобальной тектоники позволяет наметить новые пути металлогенического анализа, из которых наиболее обещающим может быть метод выявления магматической и металлогенической зональности.

Пути использования новых идей глобальной тектоники при металлогеническом анализе еще только намечаются; на данной стадии изучения эти вопросы затрагивают главным образом проблемы планетарной металлогении. В настоящее время перед металлогеническим анализом геосинклинально-складчатых областей стоит задача не создания новых схем на основе гипотезы тектоники плит, а умелое и осторожное использование действительно новых представлений для интерпретации уже известного фактического материала; эта работа требует научного анализа с учетом конкретных задач и масштабов проводимых исследований, а не использования стандартных штампов «глобальной тектоники», когда главной задачей считается выявление только первоначальных границ палеоплит.

Металлогенический анализ геосинклинально-складчатых областей, основанный на выделении их главных типов и изучении закономерностей проявления месторождений как во времени (по стадиям развития этих структур), так и в пространстве (в отдельных тектонических элементах геосинклинально-складчатых областей), был и остается важным научным «инструментом» выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в этих главных тектонических структурах континентального блока земной коры. Конечно, необходимо совершенствование, в особенности с учетом нового фактического материала и новых тектонических идей. Однако существующие представления о металлогении геосинклинально-складчатых областей во многом прошли «жесткую» проверку временем и практикой геологоразведочных работ и действительно отражают многие объективно существующие закономерности размещения месторождений в земной коре, которые требуют в настоящее время не столько их повторного выявления, сколько нового объяснения с современных научных позиций.

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТФОРМ

Металлогения платформ изучена менее полно, чем металлогения геосинклинально-складчатых областей. Это связано с несколькими причинами и в первую очередь, очевидно, с тем, что платформы материков до последнего времени редко подвергались металлогеническому анализу как единые крупные структуры. Обычно большинство исследователей анализировали отдельные части этих структур, входящие в состав тех или иных регионов.

Так, до сих пор не создана металлогеническая карта Русской платформы в единых границах этой структуры, в то время как металлогении отдельных регионов и частей этой структуры, например Балтийскому и Украинскому щитам, посвящено много исследований. Наиболее комплексно и детально изучена металлогения Сибирской платформы, которая послужила как бы эталоном для разработки основных принципов металлогенического анализа платформенных областей [333, 335, 373, 375, 376].

Под платформами обычно понимаются относительно устойчивые по сравнению с геосинклинально-складчатыми областями крупные консолидированные блоки земной коры, имеющие двухъярусное строение. Нижний ярус, или фундамент, образован геологическими формациями разновозрастных, обычно древних (архейских или протерозойских) складчатых областей, а верхний — относительно спокойно залегающими осадочными, местами вулканическими породами, образующими осадочный (осадочно-вулканогенный) чехол.

Нами рассматривается металлогения только древних платформ, под которыми понимаются платформы, сформировавшиеся до байкальской складчатости.

И. Г. Магакьян [218] считает, что при металлогеническом анализе платформ следует различать три главных периода: «1) — период (периоды) осадконакопления, вулканизма и метаморфизма мощных вулканогенно-осадочных толщ, накапливающихся в древнейших (архейских и протерозойских) бассейнах; 2) — период (периоды) консолидации, замыкания областей накопления осадков и многократного внедрения интрузивных масс гранитоидного и частью основного и ультраосновного состава; 3) — период платформенного режима с позднейшими разломами (вплоть до альпийского возраста) и внедрением вдоль них трещинных интрузий основного и ультраосновного, щелочного и гранитоидного составов» [218, с. 17].

Первые два периода связаны с формированием фундамента платформ, который обычно сложен метаморфическими образованиями, возникающими в результате развития древних геосин-

клинально-складчатых областей и наложения последующих процессов регионального метаморфизма на различные геологические формации, сформировавшиеся в процессе этого развития. К металлогеническому анализу фундамента платформ в общем случае применимы общие принципы, используемые при анализе геосинклинально-складчатых областей, с обязательным учетом в каждом конкретном регионе особенностей развития и проявления процессов регионального метаморфизма, сопровождаемых образованием метаморфогенных месторождений.

В общем случае изучение металлогении фундамента платформ связано с познанием особенностей металлогении докембрия. Д. А. Великославинский, Ю. М. Соколов и В. А. Глебовицкий [65], вслед за Н. Г. Судовиковым [381], главной проблемой металлогении докембрия считают исследование закономерностей образования и размещения формаций метаморфогенных месторождений полезных ископаемых. По их мнению, эта проблема должна рассматриваться на основании тщательных геологических исследований и проведения анализа в следующих направлениях: а) к какой осадочно-вулканогенной или магматической фации или формации принадлежат подвергшиеся метаморфизму вмещающие месторождения породы; б) в какой фации метаморфизма они метаморфизованы; в) при каком типе регионального метаморфизма возникла метаморфическая фация или группа фаций, приведшая к возникновению парагенетической ассоциации метаморфических пород, которую можно назвать метаморфической фацией; г) последовательность наложения метаморфических процессов (полиметаморфизм) [53, с. 65]. Такая схема изучения рудных процессов в докембрии в общих чертах правильна, но в ее основе должны находиться принципы металлогенического анализа геосинклинально-складчатых областей неогея [95], с учетом особенностей эволюции метаморфогенного рудообразования в докембрийских метаморфических поясах [287].

При всей сложности металлогенического анализа докембрийских метаморфических комплексов фундамента платформ в настоящее время нет оснований говорить о необходимости принципиально иного подхода к выявлению закономерностей развития древних геосинклинально-складчатых областей. Эти принципы в основе остаются прежними, сходными с применяемыми при металлогеническом анализе структур фанерозоя, однако факторы регионального метаморфизма и ультраметаморфизма с сопровождающими эти процессы явлениями метасоматоза приобретают при анализе металлогении областей развития докембрия совершенно особое значение.

На состоявшемся в 1973 г. в Ленинграде совещании по металлогении докембрия были подведены определенные итоги современным знаниям по эволюции рудных процессов на ранних этапах развития земной коры. Были рассмотрены общие теоре-

тические аспекты металлогении докембрия и вопросы металлогении отдельных регионов [237].

На совещании было показано, что докембрийская эпоха развития нашей планеты имеет исключительное металлогеническое значение, так как рудные месторождения докембрия заключают более 90% всех железных руд, более половины мировых запасов урана, возможно золота, а также крупные концентрации никеля, меди, марганца, свинца, цинка и других металлов; были охарактеризованы докембрийские металлогенические провинции и показано, что в пределах щитов их положение зависит от складчато-блоковых и разрывных структур. Выделено три типа провинций: а) сопряженных с системами протерозойских складчатых поясов (Катангская, Воронежско-Украинская и др.); б) в гранитизированных блоках археид с наложенными протоорогенными прогибами (Алданская, Трансваль); в) сложные по строению провинции, в которых сочетаются ядра архейских сооружений с протерозойскими складчатыми зонами и структурами тектоно-магматической активизации (Австралийский щит). Подчеркнуто важное металлогеническое значение зон сочленения различных тектонических блоков, в том числе «тектоно-метасоматических» зон наложенной древней активизации [237, с. 16].

Как справедливо подчеркнул В. С. Домарев [104], одной из главных особенностей докембрийских месторождений является их метаморфизм, в различной степени проявленный в образованиях разных регионов и разного возраста и затрудняющий выяснение первичного характера различных геологических формаций и месторождений и их сопоставление с более молодыми аналогами. Кроме того, для рудных процессов докембрия весьма характерны различные по природе метасоматические явления, широко проявившиеся в ранние периоды развития земной коры. С ними связаны многие полезные ископаемые, однако изученность процессов метасоматоза для металлогенических целей, их классификация в региональном плане с учетом проявления в разных геологических структурах недостаточны. По существу процессы докембрийского метасоматоза в аспекте их связи с рудогенезом и региональной металлогенией все еще остаются в полной мере нераскрытыми. В то же время очевидно, что именно эти процессы играют ведущую роль в образовании многих типов оруденения в раннем докембрии.

Основные черты металлогении щитов в последнее время охарактеризованы Т. В. Билибиной [50, 51]. Рассматривая щиты как фрагменты докембрийских складчатых областей, составляющих фундамент древних платформ, она выделяет в их геологическом строении четыре следующих допалеозойских структурно-формационных комплекса, характерных для геотектонического развития щитов, выделение которых необходимо для металлогенического анализа этих структур: архейский (бо-

лее 2800 млн. лет), раннепротерозойский (более 1900 млн. лет), среднепротерозойский (более 1600 млн. лет), позднепротерозойский (более 600 млн. лет).

Этим комплексам присущи и определенные группы месторождений, среди которых выделяются следующие [51, с. 53]:

1) метаморфические, ультраметаморфические и осадочно-метаморфические, типичные главным образом для металлогенических эпох раннего докембрия и раннего протерозоя (железо, кианит, корунд, марганец, колчеданные руды), месторождения пегматитов, а также пневматолито-гидротермальные, связанные с процессами ультраметаморфизма (флогопит, мусковит, литий, бериллий, олово, тантал, ниобий);

2) осадочно-метаморфизованные, связанные с накоплением молассоидных геологических формаций в среднем протерозое (золото, уран, медь, никель, кобальт, железо);

3) магматические, связанные с ультраосновными интрузивными формациями ранне- и среднепротерозойских эпох (медь, никель, кобальт, платина, хром, титан, железо);

4) гидротермальные и гидротермально-метасоматические (жильные, метасоматические залежи, включая грейзеновые, минерализованные тектонические брекчии), связанные в различных геологических обстановках как с гранитоидными или щелочными интрузивными и вулканогенно-интрузивными комплексами, так и с процессами метаморфизма (золото, олово, вольфрам, свинец, цинк, серебро, ртуть, сурьма, флюорит, барит, горный хрусталь).

Особую роль в рудообразовании играет протерозойский период, во время которого образуются крупные месторождения осадочных, осадочно-вулканогенных и осадочно-гидротермальных месторождений железа, марганца, золота, меди и полиметаллических руд. На территории нашей страны пока еще не выявлены месторождения типа золотоносных конгломератов и осадочно-гидротермальные месторождения свинца и цинка типа Маунт-Айзы и реки Мак-Артур (Австралия). Важное значение для образования редкоземельных и урановых месторождений на щитах имеют процессы кремний-калиевого метасоматизма, возможно связанные, по мнению Т. В. Билибиной [51], с поздними стадиями ультраметаморфизма. Она подчеркивает, что общей и характерной закономерностью размещения рудных месторождений на щитах является сочетание литологических и структурных факторов, особенно разрывных нарушений глубинного заложения.

Выполненные коллективом ВСЕГЕИ [77, 80] исследования по сравнительному изучению щитов древних платформ Советского Союза позволяют в настоящее время более полно охарактеризовать металлогенические особенности этих структур, установить общие характерные черты их развития. При изучении щитов (Украинского, Балтийского, Алданского), а также до-

кембрийских массивов (Воронежского, Белорусского и Енисейского) широко применялся комплексный подход к изучению закономерностей размещения месторождений с использованием вещественно-исторического, геолого-структурного, геофизического и геохимического методов анализа, в результате чего удалось сопоставить главнейшие особенности геологического строения и металлогении щитов и докембрийских массивов. Были установлены общие эпохи геологического развития и сходные типы геотектонических режимов, определяющих появления и сходных групп месторождений. Наиболее контрастно выделяются следующие геологические эпохи: архейская (2300—2600 млн. лет), раннепротерозойская (1900 млн. лет), среднепротерозойская (1600 млн. лет) и позднепротерозойская (более 600 млн. лет); тектонические режимы: прогеосинклинальный, протогеосинклинальный, протоорогенный, платформенный. Как особый тектонический режим выделяются процессы тектоно-магматической активизации, проявляющиеся на Алданском щите в мезозое, на Балтийском щите в позднем протерозое — палеозое и на Украинском щите в позднем протерозое — палеозое и в мезозое.

Для щитов и массивов Русской и Сибирской платформ характерен сложный комплекс месторождений от метаморфогенных до осадочных. Ведущими металлами являются: железо, никель, медь, титан, золото; подчиненными: свинец, цинк, олово, вольфрам, тантал, ниобий; характерны неметаллические полезные ископаемые: флогопит, мусковит, нефелин, апатит и каменный уголь.

В архее, в протогеосинклинальный этап развития земной коры, формируются метаморфогенные месторождения железа, слюдяных пегматитов, флогопита, графита, корунда, кианита. Важную роль играют процессы ультраметаморфизма в образовании железных руд и флогопита. В раннем протерозое в протогеосинклинальных зонах в поздних прогибах формируются крупные месторождения железистых кварцитов (Кривой Рог, КМА), определяющие металлогенический облик этой эпохи. Месторождения меди, никеля, кобальта, хрома, золота, молибдена и др. встречаются практически на всех щитах, но имеют подчиненное развитие. Важное промышленное значение имеют месторождения горного хрусталя. Металлогения среднего протерозоя отличается от предыдущих эпох тем, что происходит формирование месторождений в условиях консолидации складчатых структур и развития глыбовых движений. Для этой эпохи характерны медь, никель, титан, ванадий, золото, молибден, высокоглиноземистые руды и слюды. Для месторождений обычна связь с магматическими формациями. В мобильных частях протоорогенных зон возникают осадочные концентрации меди, реже свинца.

Позднепротерозойско-палеозойская и мезо-кайнозойская металлогенические эпохи на щитах древних платформ характеризуются интенсивным проявлением процессов тектоно-магматической активизации, со всем набором характерных месторождений, возникающих в областях активизации.

Для первой эпохи в связи с процессами активизации характерно формирование сложных щелочных-ультраосновных комплексов с карбонатитами, сопровождаемыми месторождениями железа, редких земель, флогопита (Кольский полуостров).

Важной особенностью эндогенных месторождений щитов, независимо от их возраста, является их контроль разрывными нарушениями, неоднократно проявляющимися в геологическом развитии этих структур. Обычно рисунок расположения разломов определяет размещение рудных районов, которые, как правило, возникают на их пересечении.

На щитах и массивах выделяется значительное число рудных формаций, каждая из которых имеет свои характерные особенности локализации в конкретных структурах. Их подробная характеристика, а также общая характеристика металлогенических эпох щитов древних платформ приводятся в содержательных работах Т. В. Билибиной [77, 80].

Вопросы металлогении докембрия рассмотрены в интересной работе В. С. Домарева [103]. Проведя сопоставление докембрийских и постпротерозойских рудных формаций, он показал, что специфические метаморфические месторождения в докембрии не столь уж разнообразны, значительная часть рудных месторождений относится к тем же генетическим образованиям, как и месторождения постпротерозоя. На это обстоятельство нами обращалось внимание в предыдущих главах работы, когда отмечалось, что металлогенический анализ докембрийских областей должен основываться на принципах, применяемых для более молодых складчатых структур с учетом специфики широко развитых в докембрии процессов метаморфизма.

Познание металлогении платформ связано во многом с исследованиями Ю. Г. Старицкого [372, 373, 345, 375], который, детально исследуя закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на Сибирской платформе (рис. 16), проанализировал фактический материал по другим платформенным структурам мира и сделал ряд общих выводов. По мнению Ю. Г. Старицкого [373, 375], все древние платформы развиваются по единому плану и в их развитии отчетливо выделяются три этапа, при этом в отличие от геосинклинально-складчатых зон платформы развиваются не циклично, а строго направленно.

Первый этап в развитии платформ характеризуется преобладанием континентального режима, образованием осадков в локальных впадинах и медленным осадконакоплением. Этот этап на большинстве платформ охватывает время от нижнего

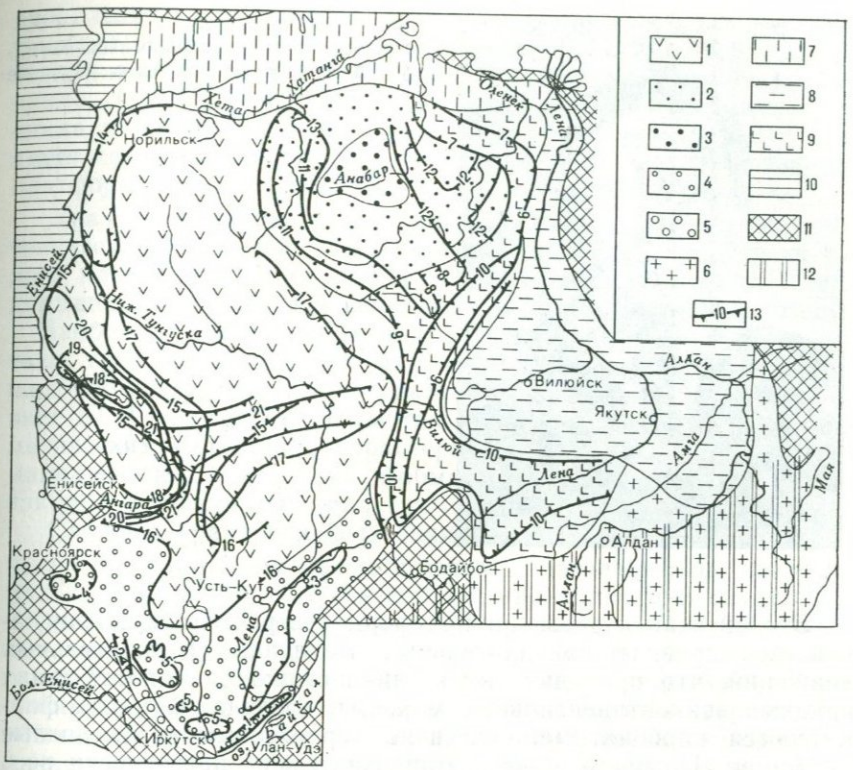


РИС. 16.
Схема металлогенического (минерагенического) районирования Сибирской платформы. По Ю. Г. Старицкому [376].

1 — Тунгусская минерагеническая провинция; *2* — Оленекская минерагеническая провинция; *3* — Анабарская субпровинция Оленекской провинции; *4* — Ангарская минерагеническая провинция; *5* — Восточно-Саянская субпровинция Ангарской провинции; *6* — Алданская минерагеническая провинция; *7* — Лено-Хатангская минерагеническая провинция; *8* — Вилюйская минерагеническая провинция; *9* — Вилюйско-Ленская минерагеническая провинция; *10* — Западно-Сибирская плита; *11* — складчатое обрамление платформы; *12* — область распространения структур и магматизма дива; *13* — границы минерагенических зон и областей: 1 — Прибайкальская фосфоритоносная зона; 2 — Присаянская фосфоритоносная зона; 3 — Ленская меденосная область; 4 — Канская железорудная область; 5 — Присаянская титаноносная область; 6 — Лено-Вилюйская алмазоносная зона; 7 — Уджинская алмазоносная зона; 8 — Мунско-Тюнгская алмазоносная зона; 9 — восточная часть Вилюйско-Котуйской алмазоносной зоны; 10 — Олекминско-Мархинская золотоносная зона; 11 — северо-западная часть Вилюйско-Котуйской зоны; 12 — Анабаро-Мунская алмазоносная зона; 13 — Меймеча-Котуйская зона с флогопитом, титаном, железом, алюминием (в нефелине); 14 — Нижнеенисейская зона с никелем, медью, кобальтом, железом, графитом; 15 — Хатангская железорудная зона; 16 — Ангаро-Илимская железорудная зона; 17 — Тунгусская шпатоносная область; 18 — Приенисейская меденосная область; 19 — Нижне-Катангская фосфоритоносная область; 20 — Ангаро-Катангская бокситоносная область; 21 — Ангаро-Вилюйская алмазоносная зона

протерозоя до начала палеозоя. В некоторых регионах по периферии платформ в конце первого этапа возникают крупные прогибы, в которых образуются сложные по составу карбонатные и эвапоритовые толщи.



Ю. Г. СТАРИЦКИЙ — доктор геолого-минералогических наук, внес крупный вклад в изучение металлогении платформ

Второй этап в развитии платформ северного полушария начинается проявлением длительных, медленных отрицательных движений, что приводит к возникновению на платформах крупных эпиконтинентальных морей, в пределах которых формируются карбонатные, частично терригенные и угленосные формации. По времени этот этап охватывает практически весь палеозой до начала или середины мезозоя. Ю. Г. Старицкий отмечает, что на платформах южного полушария и Индостана процессы континентального угленакопления начались только в позднем палеозое, тогда как в раннем палеозое осадкообразования на платформах не происходило.

Наконец, третий этап, охватывающий мезозой и кайнозой, связан с резкой дифференциацией тектонических движений на платформах, что, с одной стороны, приводит к возникновению поднятий, и с другой — к образованию глубоких впадин, заполненных терригенными и (или) карбонатно-терригенными, нередко угленосными отложениями.

Этапы развития различных платформ обычно близко совпадают по времени, особенно для платформ одного полушария.

На каждом этапе развития платформ возникают структуры разных порядков: поднятия, впадины, валы, мульды, крупные флексуры и т. д. В последнее время все с большей очевидностью вырисовывается важная роль в развитии платформ крупных блоков и региональных тектонических нарушений.

Ю. Г. Старицкий отмечает, что между этапами развития платформ и этапами эволюции геосинклинально-складчатых областей имеются принципиальные различия: по длительности

проявления этап развития платформ соответствует всему тектоно-магматическому циклу складчатой области, в то время как этап развития складчатой области является только частью цикла; при этом последние в общих чертах повторяются от цикла к циклу, тогда как каждый этап развития платформ имеет свои особенности, не повторяющиеся в истории развития платформенных сооружений.

Указанные этапы разделены периодами интенсивных тектонических движений, когда происходит перестройка структурного плана платформ; к этим же максимумам тектонических движений приурочены и вспышки платформенного магматизма.

Наиболее контрастно на платформах выделяются представители трех магматических формаций: основной (трапповой), щелочно-ультраосновной и трахибазальтовой. Как подчеркивает Ю. Г. Старицкий, несмотря на ограниченность числа магматических формаций, характерных для платформ, объемы магматических масс этих формаций превосходят или равны таковым в складчатых областях.

Сложная трапповая формация является наиболее характерным представителем магматических образований на платформах. С этой формацией связано формирование многочисленных и различных по минеральному составу месторождений полезных ископаемых. К таким месторождениям в первую очередь относятся ликвационные медно-никелевые Норильского района Сибирской платформы и Южной Африки. Такие месторождения обычно связаны с небольшими интрузиями, состав которых отличается повышенной магнезиальностью. В траппах почти на всех платформах известны магматические проявления самородной меди. С трапповой формацией связано также широкое проявление железорудной минерализации. Для этой группы весьма характерны месторождения так называемого ангарно-илимского типа, представленные сложными трубками взрыва, к которым приурочены магнетитовые руды, как локализующиеся в самих трубках, так и образующие пластовые залежи, отходящие в стороны от трубок и возникающие при замещении карбонатных горизонтов. Такие месторождения известны на юге Сибирской платформы (Коршуновское, Илимское, Луч и др.) и в пределах платформенных сооружений Северной Америки (Варвик, Френч-Крик и др.).

Кроме такого типа месторождений на платформах проявлены небольшие титаномагнетитовые месторождения в траппах, а также своеобразные месторождения самородного железа, сопровождаемые никелевой, платиновой, кобальтовой и иными минерализациями (р. Курейка, Сибирская платформа). Одной из характернейших групп месторождений, связанных с траппами, являются месторождения исландского шпата, практически известные на всех платформах: Сибирской, Индийской, Африканской, Северо-Американской. Эти месторождения образу-

ют обычно целые районы или провинции внутри областей развития траппов и приурочены, как правило, к крупным зонам разломов.

В том случае, когда траппы контактируют с пластами углей, иногда возникают месторождения высококачественного графита, подобно известным на Сибирской и Северо-Американской платформах.

Ю. Г. Старицкий [375] отмечает, что на Китайской и Индийской платформах на контакте траппов с доломитами образуются месторождения хризотил-асбеста.

С щелочно-ультраосновной формацией связано проявление на платформах широкого комплекса полезных ископаемых. С характерными для платформ сложными многофазными кольцевыми интрузиями основных-щелочных пород ассоциируются карбонатитовые месторождения редких земель, фосфора, урана, реже флюорита. Со сложными по строению и составу интрузиями субформации нефелиновых сиенитов связаны крупные апатитовые месторождения, а также месторождения нефелина, являющегося источником получения алюминия. С этими же интрузиями ассоциируются редкоземельные месторождения.

Наконец, особую и крайне характерную для платформ группу магматических пород и месторождений образуют алмазоносные кимберлиты, представленные кимберлитовыми дайками и трубками взрыва.

Все образования различных магматических формаций платформ и связаные с ними месторождения, по мнению Ю. Г. Старицкого [373, 375], строго контролируются положением тектонических нарушений, которые, как правило, приурочены к границам крупных структурных элементов как внутри платформ, так и в зонах ее обрамления на сочленении с геосинклинально-складчатыми областями.

Для трапповых формаций, которые обычно проявляются на платформах неоднократно, независимо от времени их возникновения, как правило, характерна приуроченность к двум основным типам структур: а) внутриплатформенным зонам относительного погружения и их периферии (синеклизы, авлакогены); б) краевым частям перикратонных опусканий. По мнению некоторых исследователей [76], такая приуроченность траппового материала к отрицательным структурам обусловлена значительным «разрастанием» земной коры, ее прогибанием и образованием многочисленных нарушений, по которым магма устремлялась к поверхности.

Необходимо отметить, что в осадочном чехле платформ известны крупные месторождения; это в основном фосфоритовые, железорудные, марганцевые и медные месторождения седиментогенного типа. Образование этих месторождений происходило неоднократно, оно связано с рядом эпох. Так, на Сибирской платформе выделяются три эпохи образования меденосных

формаций, семь эпох накопления фосфоритов, четыре эпохи накопления осадочных железных руд и т. д. [76].

Н. С. Малич и Е. В. Туганова [225] отмечают, что платформы развиваются полициклично, о чем свидетельствует неоднократное проявление в пределах платформ однотипных рудоносных формаций. Кроме того, по их мнению, продуктивность магматических формаций, интенсивность проявления оруденения на платформах увеличиваются от этапа к этапу.

В настоящее время металлогеническая классификация платформ практически не разработана. А. И. Семенов, Ю. Г. Старицкий и Е. Т. Шаталов [335] предлагают в пределах платформенных областей Советского Союза выделять два главных типа металлогенических провинций: щелочно-фемический и амагматический. Первый тип они подразделяют на два подтипа: тунгусский и якутский.

Металлогенические провинции первого подтипа приурочены к синеклизам второй стадии развития платформ, в пределах которых развит трапповый магматизм, сопровождаемый месторождениями никеля, меди, железа, графита, исландского шпата, стронция и бария. Для якутского подтипа провинций, приуроченных к антеклизам и выступам кристаллического фундамента, характерны алмазоносные кимберлиты и щелочные и ультраосновные интрузии, сопровождаемые редкоземельной минерализацией, часто связанной с карбонатитами.

Амагматический тип провинций эти исследователи подразделяют на западносибирский и московский подтипы. К первому подтипу относятся Западно-Сибирская, Вилюйская, Прикаспийская и некоторые другие провинции. Они характеризуются главным образом осадочными месторождениями марганца, железа, серы, фосфоритов, а также месторождениями алмазов и циркониевых минералов. В некоторых провинциях известны остаточные месторождения никеля, алюминия и железа. Для московского подтипа характерны экзогенные месторождения меди, фосфоритов и различных солей (Предуральский, Прибайкальский прогибы).

В пределах платформ указанные исследователи выделяют одиннадцать структурно-металлогенических зон (табл. 11).

Наиболее детальное сравнительное сопоставление металлогении платформенных областей мира было произведено Ю. Г. Старицким [373, 375], проанализировавшим особенности развития и общие закономерности проявления четырех платформ: Южно-Африканской, Индийской, Северо-Американской и Сибирской. Им было показано, что в пределах каждой платформы выделяются два сопоставимых между собой цикла магматизма: первый характеризуется главным образом основным составом пород, а второй более пестрым — от ультраосновных до кислых и щелочных. По мнению Ю. Г. Старицкого, магматизм на различных платформах и связанное с ними оруденение

ТАБЛИЦА 11

Главные типы структурно-металлогенических (металлогенических) зон и площадей минерализации на платформах. По А. И. Семенову, Ю. Г. Старицкому и Е. Т. Шаталову [335])

Типы структурно-металлогенических зон и площадей минерализации	Типы и подтипы металлогенических провинций			
	щелочно-фемический тип		амагматический тип	
	тунгусский тип	якутский подтип	московский подтип	западносибирский подтип
Магматических кобальт-медно-никелевых с платиноидами месторождений, связанных с дифференцированными интрузиями трапповой формации (интрузии повышенной магнезиальности и сернистости) и приуроченных к перикратонным областям	++++	—	—	—
Гидротермальных железорудных, свинцово-цинковых, иногда графитовых месторождений, связанных с дифференцированными интрузиями трапповой формации (интрузии повышенной железистости или щелочности) и приуроченных к зонам разломов на окраинах крупных тектонических структур	++++	—	—	—
Гидротермальных низкотемпературных месторождений исландского шпата, барита, целестина, связанных с трапповой формацией (ее эффузивной фацией)	++++	++	—	—
Магматических и гидротермальных апатитовых, нефелиновых, железотитановых, титановых, редкометальных, редкоземельных, флогопитовых месторождений, нередко в карбонатитах, связанных с центральными интрузиями щелочно-ультраосновной формации *	—	++++	—	—
Магматических месторождений алмазов, связанных с кимберлитовой субформацией щелочно-ультраосновной формации	++	++++	—	—
Осадочных и остаточных месторождений бокситов, связанных с формацией кор выветривания (в том числе переотложенных)	++	—	++	++++

* Встречаются в металлогенических ультраметаморфических фемических провинциях алданского и балтийского подтипов в платформенной стадии их развития.

Продолжение табл. 11

Типы структурно-металлогенических зон и площадей минерализации	Типы и подтипы металлогенических провинций			
	щелочно-фемический тип		амагматический тип	
	тунгусский тип	якутский подтип	московский подтип	западносибирский подтип
Осадочных месторождений железа и марганца, связанных с терригенными, реже терригенно-карбонатными формациями	++	—	++	++++
Остаточных месторождений железа, связанных с формацией кор выветривания (преимущественно железистых кварцитов)	—	—	—	—
Осадочных месторождений фосфоритов, связанных с терригенно-карбонатной и песчанистой терригенной формацией	++	—	++	++++
Осадочных месторождений меди, свинца, цинка, связанных с формациями пестроцветной, дельтовой, терригенно-карбонатной и карбонатной	++	—	++++	—
Месторождений золота, платины, ильменита, циркона, монацита, алмазов и др., связанных с четвертичными и ископаемыми россыпями	—	—	—	++++

++++ — главные типы зон, определяющие металлогенический облик провинций.
++ — типы зон, менее характерные для провинций.

крайне однотипны и развиваются строго по двухцикличной схеме.

С эффузивно-туфовой фазой первого магматического цикла ассоциируются кварцево-кальцитовые жилы с самородной медью и рудопроявления и месторождения самородной меди, а с интрузивной фазой, представленной сложными дифференцированными и недифференцированными интрузиями от ультраосновных до кислых и щелочных пород, ассоциируются медно-никелевые месторождения типа Инсизвы в Южной Африке и Норильского района на Сибирской платформе.

Второй цикл развития платформ характеризуется широким проявлением вулканических аппаратов центрального типа, среди которых выделяются алмазоносные кимберлиты. В этом цикле развития платформ также устанавливаются три этапа проявления магматизма: этап образования вулканических ап-

паратов центрального типа, эффузивный и интрузивный. По мнению Ю. Г. Старицкого [373], фактического материала о наличии месторождений, ассоциированных с двумя последними фазами второго цикла, недостаточно. Магматические проявления на различных платформах всегда тесно связаны с тектоническими движениями, которые не зависят от развития смежных геосинклинально-складчатых областей.

Ю. Г. Старицкий [374] подчеркивает, что металлогеническое районирование платформ представляет собой крайне сложную задачу, так как в отличие от геосинклинально-складчатых областей на платформах имеет место перекрытие одних образований другими, более поздними, а это не позволяет оконтуривать рудоносные площади по принципу этапов их развития. Приходится выделять рудоносные площади (области, зоны, районы) по преобладающим полезным ископаемым или типам месторождений, распространенным в их пределах; конечно, при этом необходимо учитывать всю совокупность процессов, протекавших в пределах определенного участка (площади) платформы.

Как полагают Н. С. Малич и Е. В. Туганова [225], на платформах очертания рудоносных площадей металлогенических областей, зон и районов достаточно четко могут быть установлены по границам структурно-формационных областей. При этом пространственное размещение рудоносных формаций контролируется структурно-формационными областями отдельных этапов развития чехла платформы.

На примере Русской платформы Р. Н. Валеевым, Л. Ф. Солонцовым, В. Н. Аверьяновым, Е. М. Аксеновым, Ю. Г. Старицким, Э. И. Наливкиной и А. А. Удаловой [63] выделено тринадцать различных металлогенических (минерагенических) провинций, в основном совпадающих с главными структурно-формационными подразделениями.

В. А. Милашев [247] пришел к выводу о том, что всем без исключения крупным кимберлитовым провинциям, которые характеризуются проявлениями ультраосновного и щелочно-ультраосновного магматизма, свойственно специфическое концентрически-зональное строение (рис. 17). В центральных частях таких провинций обычно развиты более древние кимберлиты (возникшие при максимальных температурах и давлениях); в средней зоне формируются относительно более молодые кимберлиты (средние температуры и давления), а в периферических зонах — самые молодые кимберлиты (минимально возможные давления и температуры). Кимберлитовое трехзональное ядро провинции обрамляется окраиной, периферической зоной, в пределах которой формируются карбонатиты, массивы щелочных и щелочно-ультраосновных пород.

Такие зональные кимберлитовые провинции формируются около 250 млн. лет, что определяется по разнице возраста ким-

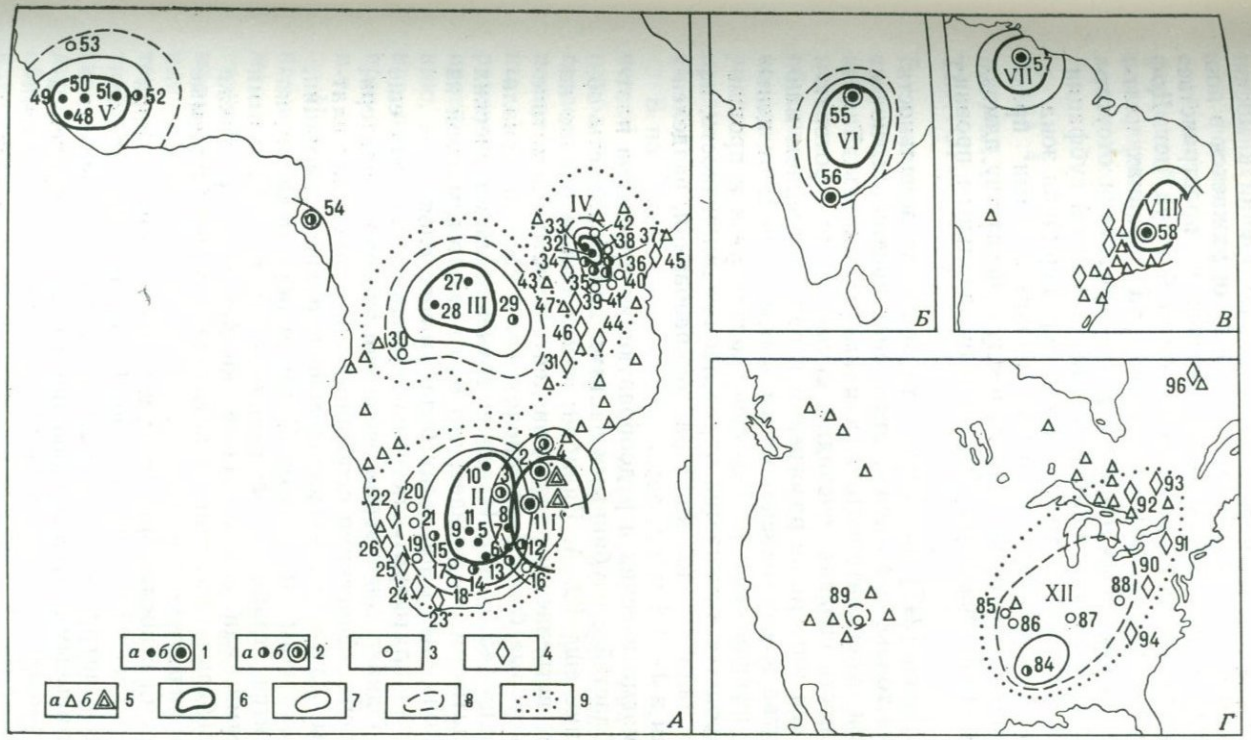


РИС. 17.

Схема районирования областей развития кимберлитов и комагматичных им щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов в Африке (А), Индии (Б), Южной (В) и Северной (Г) Америке. По В. А. Милашеву [247].

Поля кимберлитов (*а* — фанерозойского возраста, *б* — протерозойского возраста): *1* — алмазной субфации; *2* — алмазной и пироповой субфаций; *3* — пироповой субфации; *4* — поля пикритов и пикритовых порфиритов; *5* — участки развития щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов. Границы зон развития: *6* — кимберлитов алмазной субфации; *7* — кимберлитов алмазно-пироповой субфации; *8* — кимберлитов пироповой субфации; *9* — порфировых ультраосновных и щелочно-ультраосновных пород пикритовой фации. Римскими цифрами обозначены провинции, арабскими — кимберлитовые и пикритовые поля

берлитов в пределах разных зон. Кроме того, В. А. Милашевым установлена определенная цикличность в проявлении кимберлитового вулканизма на платформах, которая выражается в последовательном формировании совмещенных в пространстве кимберлитовых провинций с интервалом около 1 млрд. лет. Доказывается, что кимберлитовые провинции на окраинах платформ или вблизи рифтовых областей характеризуются отсутствием центральной зоны с кимберлитами алмазной субфации или она слабо развита, в то время как периферийная зона с щелочными и щелочно-ультраосновными комплексами представлена хорошо. Такие провинции по числу и богатству алмазных месторождений резко уступают полнозональным провинциям.

В. А. Милашев [247] полагает, что подобная зональность проявляется не только в пределах отдельных провинций, но и характерна для суперконтинентов, например Гондваны. Такая общая зональность связана, очевидно, с явлениями, протекающими в верхней мантии, с разогревом и разуплотнением мантийного вещества и его конвекционным перемещением от центральных к периферическим частям суперконтинентов и провинций. В этом процессе намечается определенная цикличность, на что указывает наличие эпох кимберлитообразования, разделенных периодами в 1—1,2 млрд. лет.

На связь магматических и рудообразующих процессов платформенных областей с глубинными частями нашей планеты обращал внимание еще Ю. А. Билибин: «ни в одном случае на платформах не встречается признаков деятельности магматических очагов, которые были бы расположены в пределах сиалической оболочки» [45, с. 83]. И далее: изучение магматических комплексов платформ показывает, что они питаются магмой из очагов, расположенных в пределах базальтового слоя.

Металлогения платформ, как уже отмечалось, изучена еще недостаточно. Однако совершенно очевидно, что она характеризуется своими специфическими особенностями; в пределах платформ известны осадочные, магматические и рудные формации, присущие только этим структурам. К таким образованиям, например, относится трапповая формация с медно-никелевыми месторождениями или алмазоносные кимберлиты, а также сложные кольцевые щелочные интрузии, сопровождаемые комплексной минерализацией.

В то же время в последние годы установлено, как это справедливо подчеркивает Ю. Г. Старицкий [375], что на платформах образуются интрузивные породы и месторождения, сходные с платформенными, но возникающие в связи с наложенными на платформенные сооружения процессами тектоно-магматической активизации. К таким образованиям прежде всего относятся редкометальные карбонатиты, связанные с щелочными-ультраосновными интрузиями, проявляющимися в молодых

рифтовых зонах. Поэтому при металлогеническом анализе платформ имеет большое значение установление месторождений, формирующихся в связи с процессами тектоно-магматической активизации, и разделение осадочных и магматических формаций на собственно платформенные и наложенные на платформенный субстрат в результате процессов отраженной и автономной тектоно-магматической активизации.

ГЛАВА 4

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ АВТОНОМНОЙ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

В последние годы в Советском Союзе оформилось как самостоятельное научное направление учение о неогеосинклинальных подвижных структурах земной коры или областях тектоно-магматической активизации. Возникновение этого направления обусловлено появлением нового фактического материала по закономерностям размещения рудных месторождений, который не укладывался в стандартные рамки металлогенических схем, признававших связь рудных месторождений только с развитием геосинклинальных зон и платформ.

В настоящее время металлогения областей тектоно-магматической активизации вырисовывается как сложная комплексная проблема, охватывающая широкий круг вопросов современной геологии и имеющая важное прикладное значение. Многие аспекты этой проблемы изучены еще недостаточно и дискуссионны. Нет единой точки зрения на особенности тектонического развития активизированных областей и их положение в общем процессе эволюции региональных структур Земли. К сожалению, все еще существуют значительные разногласия в толковании природы процессов тектоно-магматической активизации; применяется неодинаковая терминология для их определения и т. д.

И тем не менее проблема активизированных областей земной коры как большая проблема современной геологии, проблема эволюции и металлогении негеосинклинальных подвижных структур земной коры привлекает все большее и большее внимание исследователей, и ее теоретическое и прикладное значения возрастают с каждым годом. Это связано прежде всего с тем, что представления об областях тектоно-магматической активизации и их металлогении объясняют с новых позиций многие геологические явления, которые не укладываются в стандартные рамки, казалось бы, уже признанных концепций об обязательной связи рудных месторождений с развитием геосинклинальных зон и платформ. По существу вся проблема областей тектоно-магматической активизации, характеризующихся специфическим набором рудных месторождений, родилась из

всестороннего анализа «аномального» фактического материала, искажающего общую картину эволюции геосинклинально-складчатых зон.

Пожалуй, можно утверждать, что в настоящее время большинство исследователей под процессами тектоно-магматической активизации понимают сложный комплекс наложенных тектонических и магматических явлений, ведущих к структурной перестройке платформенных и консолидированных складчатых сооружений и происходящих в послеплатформенную континентальную стадию развития земной коры.

Наложенный характер процессов тектоно-магматической активизации и их развитие на консолидированных структурах являются той общей и главной их особенностью, которая выделяет эти процессы в особую группу и позволяет, употребляя, казалось бы, неопределенный термин «тектоно-магматическая активизация», характеризовать специфические геологические процессы, отличные от происходящих в складчатых областях.

Анализ известного фактического материала и точек зрения других исследователей показывает, что среди областей тектоно-магматической активизации наиболее контрастно выделяются два следующих принципиально различных типа, каждый из которых имеет свои особенности развития рудных процессов и характеризуется специфическими металлогеническими чертами:

а. Первый тип — области тектоно-магматической активизации, возникающие в пределах консолидированных рам геосинклинальных прогибов в связи с развитием последних («отраженная» или «сателлитовая» активизация в понимании М. И. Ициксона, А. И. Семенова и автора; «резонансная» активизация по терминологии Ю. М. Пущаровского и В. Т. Матвеенко; «ревивация» по представлениям М. С. Нагибиной). Металлогения областей активизации этого типа была охарактеризована выше при рассмотрении закономерностей проявления рудных месторождений в геосинклинально-складчатых областях.

б. Второй тип — области тектоно-магматической активизации, формирующиеся независимо от развития геосинклинальных прогибов в континентальную стадию развития земной коры (активизация в понимании М. С. Нагибиной, автономная активизация по терминологии А. Д. Щеглова; области «дива» по Чен Го-да, В. Л. Масайтису и Ю. Г. Старицкому; «эпигонали» по терминологии Ю. В. Комарова и П. М. Хренова; некоторые сводово-глыбовые и глыбовые области в понимании Г. Ф. Мирчинка, Д. И. Горжевского, Е. Д. Карповой и В. Н. Козеренко).

Сложные вопросы металлогении областей тектоно-магматической активизации изучены еще крайне недостаточно, особенно это относится к областям автономной активизации, всестороннее изучение которых практически еще только начинается. Однако уже сейчас, на первых этапах изучения этой проблемы,

наметилась опасная тенденция преувеличения роли процессов тектоно-магматической активизации и отнесение к ним явлений, характерных для завершающих стадий развития геосинклинально-складчатых зон. В этой связи нельзя не отметить крайнюю позицию Е. Д. Карповой, по мнению которой, процессы тектоно-магматической активизации и связанное с ними рудообразование не отделимы от процессов, характерных для заключительной стадии развития геосинклинальных областей [152, с. 95]. Такая постановка вопроса по существу снимает необходимость обсуждения в качестве самостоятельной проблемы рассматриваемых вопросов или в лучшем случае сводит их к изучению металлогении областей отраженной тектоно-магматической активизации.

В то же время следует подчеркнуть, что в последние годы определилось и единство взглядов на процессы тектоно-магматической активизации ряда исследователей, стоявших, казалось бы, на разных позициях. Это в первую очередь касается интересных исследований В. Е. Хаина [415] — одного из представителей «тектонического направления» рассматриваемой проблемы.

В. Е. Хаин [415] пришел к выводу о том, что эпиплатформенные орогенные пояса (ЭПОП) правомерно выделять в самостоятельную категорию структурных элементов земной коры, причем к одним из них применимо название областей автономной активизации [415, с. 269], тогда как другие [перегеосинклинальные ЭПОП, по В. Е. Хаину; там же, с. 273] соответствуют областям отраженной активизации. Эти выводы В. Е. Хаина имеют принципиальное значение, так как свидетельствуют практически о полном сближении точек зрения «тектонистов и металлогенистов» по важным вопросам тектонического развития активизированных областей.

В последние годы появились интересные работы, посвященные различным аспектам металлогении областей тектоно-магматической активизации. В капитальном исследовании В. И. Казанского [142] рассматриваются многие сложные вопросы геологии и металлогении областей активизации на примере ряда крупных регионов Восточной Азии. В этой работе по существу впервые наиболее детально охарактеризованы области активизации, развивающиеся на платформах, а также показано, что в областях активизации оказываются совмещенными рудные месторождения, сформированные в разное время и в разных условиях. Как установил В. И. Казанский, характер тектонических движений этапа активизации в значительной степени определяется степенью консолидации нижнего структурного этажа. Она же влияет и на строение платформенного чехла, его мощность, устойчивость, фации, дифференциацию на конседиментационные прогибы и поднятия и, в конечном счете, на характер металлогенических особенностей (рис. 18).

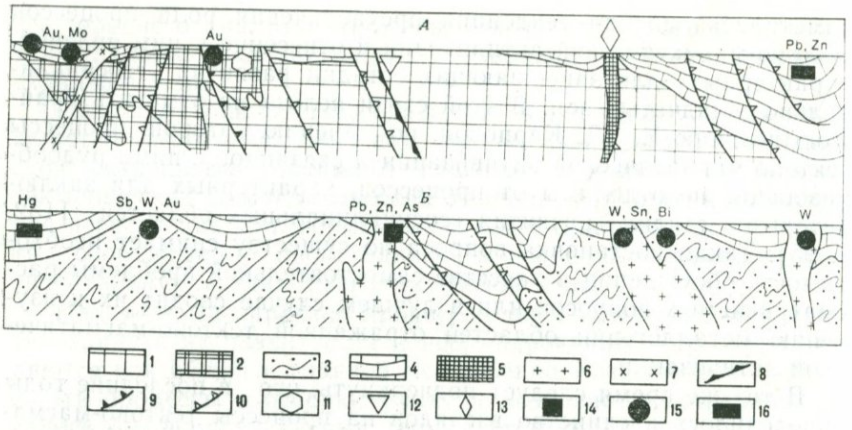


РИС. 18.
Схема размещения мезозойского эндогенного оруденения на активизированных платформах. По В. И. Казанскому.

А — на архейско-нижнепротерозойском, Б — на верхнепротерозойско-нижнепалеозойском основании (в разрезе). *1—3* — фундамент: *1* — гнейсы и кристаллические сланцы, *2* — продуктивные горизонты магнезиальных пород, *3* — песчано-сланцевые отложения; *4* — платформенный чехол; *5* — позднепротерозойские ультраосновные-щелочные интрузивы; *6* — мезозойские гранитоидные интрузивы; *7* — мезозойские щелочные интрузивы; *8* — раннепротерозойские разломы; *9* — раннепротерозойские, омоложенные в мезозое, разломы; *10* — мезозойские разломы; *11* — архейские скарновые месторождения магнетита и флогопита; *12* — раннепротерозойские редкометальные пегматиты и высокотемпературные щелочные метасоматиты; *13* — позднепротерозойские магматические месторождения платины и редкометальные карбонатиты; *14—16* — мезозойские эндогенные месторождения; *14* — скарновые, *15* — гидротермальные, *16* — телетермальные (химические символы обозначают ведущие металлы руд)

Для образования постмагматических месторождений наиболее благоприятные условия создаются, по-видимому, в тех районах, где платформенный чехол имеет сравнительно небольшую мощность, не превышающую 4—5 км. Этим условиям отвечают Алданский щит и эпикаледонская часть Южно-Китайского массива. В районах с глубоко опущенным фундаментом и наиболее полными разрезами осадочного чехла (до 8—10 км) мезозойский магматизм проявлен значительно слабее, а месторождения представлены телетермальным типом.

В. И. Казанский отмечает, что определяющее влияние структурных этажей на условия локализации оруденения наблюдается в тех районах, где они четко различаются по составу и степени метаморфизма пород; если различия невелики, то эндогенное оруденение распространяется из одного этажа в другой практически без изменений.

В исследовании В. И. Казанского впервые даны отличительные особенности разрывных нарушений в областях активизации, показано их «сверхдлительное» развитие, особенно в пограничных зонах активизированных платформ, которые разделяются им на зоны длительного сквозного и кратковременного

развития. Исходя из идеи о направленном развитии земной коры, для обозначения процессов переработки щитов и платформ в позднем докембрии В. И. Казанский считает возможным использовать термин «протоактивизация» подобно тому, как древние подвижные зоны именуются «протогеосинклиналями», а относительно более устойчивые «протоплатформами».

Как показало Всесоюзное металлогеническое совещание в Иркутске [240], посвященное металлогении активизированных областей, выделение областей автономной тектоно-магматической активизации в самостоятельную категорию региональных (планетарных) структур, равнозначных по рангу геосинклиналям и платформам, многие исследователи все еще подвергают сомнению. Они видят неразрывные связи между формированием геосинклиналей и областей активизации, полагая, что подвижные пояса (области) в пределах стабильных континентальных структур следует рассматривать как одну из форм отражения геосинклинального процесса. Между тем анализ новейшего фактического материала прежде всего по металлогении и магматизму и геофизических данных показывает с достаточной очевидностью следующее: существует самостоятельная группа региональных тектонических структур, возникающих в послеплатформенную континентальную стадию развития земной коры, которые отличаются набором характерных признаков, позволяющих выделять их в самостоятельную категорию первого ранга — области автономной тектоно-магматической активизации.

Для этих структур характерны следующие главные особенности:

— возникновение в послеплатформенную континентальную стадию развития земной коры на жестком консолидированном субстрате разновозрастных складчатых областей, платформ и крупных срединных массивов (с выведенными на поверхность структурами древнего фундамента);

— наличие самостоятельных тектонических элементов (вулканических впадин, приразломных угленосных депрессий, зон долгоживущих разломов и рифтовых зон [245, 246]), для которых типичны наложенный характер, практически полная независимость в развитии от структур субстрата и специфические геологические формации;

— проявление на площади разновозрастных и разнотипных структур (платформ и складчатых областей, разновозрастных складчатых областей, срединных массивов и складчатых областей и т. д.);

— формирование во многих регионах на значительном удалении от одновозрастных геосинклиналей;

— широкое проявление щелочных основных магм и устанавливаемая общая эволюция магматических продуктов от кислых к основным; всегда трещинный субвулканический характер

интрузивных тел и их тесная связь с вулканитами; интенсивное проявление магматизма в центральных частях областей активизации в удалении от геосинклиналей;

— характерный разрез тектоносферы; резкое уменьшение сиалического слоя за счет увеличения базальтового при общей незначительной мощности земной коры и относительно малых глубинах залегания мантии;

— интенсивные гравитационные депрессии и отрицательные изостатические аномалии; высокие тепловые потоки; повышенная сейсмичность, характеризующаяся мелкофокусными землетрясениями;

— специфический комплекс эндогенных месторождений, характерных только для данных структур, и наличие месторождений — индикаторов процессов тектоно-магматической активизации.

Совокупность указанных главных признаков позволяет выделять области автономной активизации в самостоятельную категорию региональных тектонических структур негеосинклинального ряда и не рассматривать процессы автономной тектоно-магматической активизации в качестве завершающих образование складчатых зон, отождествляя их с поздними и конечными этапами развития последних.

Рассматривая вопрос об автономном (независимом от геосинклиналей) развитии некоторых областей тектоно-магматической активизации, вновь вернемся к исследованию В. И. Казанского [142], который на примере Алданского щита и Южно-Китайской платформы показал, что рудные месторождения, возникающие в процессе автономной тектоно-магматической активизации, накладываются на рудные образования платформ. Так, на Алданском щите в раннем докембрии в связи с формированием кристаллического фундамента формировались контактово-метасоматические месторождения флогопита, железа и хрусталеносные жилы; в платформенных условиях образовались щелочно-ультраосновные интрузии центрального типа с платиной и редкометальной минерализацией, а в ходе мезозойской тектоно-магматической активизации — гидротермальные месторождения золота, молибдена и флюорита.

Металлогения областей автономной тектоно-магматической активизации была охарактеризована автором в ряде работ [457, 458, 460]. Как было показано, эти области представляют собой крупные рудные провинции, в пределах которых сосредоточены многие уникальные по масштабам эндогенные месторождения; в континентальных послеплатформенных условиях развития земной коры возникают рудные концентрации, имеющие большое промышленное значение. Отмечалось, что процессы автономной активизации охватывают различные по геологическому строению и истории развития структуры. Они наиболее отчетливо проявляются на площадях древних складчатых об-

ластей, имеющих протерозойский или палеозойский возраст (Западное Забайкалье, Тянь-Шань, Восточная Монголия, Восточные Саяны и др.), срединных массивов с выведенным на поверхность докембрийским складчатым основанием (Родопский, Чешский, Буреинский, Центрально-Французский и др.) и на территориях некоторых древних платформ и их щитов (Африка, Бразилия, Канада, Алдан и др.).

В развитии областей автономной активизации отчетливо устанавливаются две самостоятельные стадии, каждой из которых соответствуют определенные наложенные структуры, отражающие специфику тектонического режима. В первую стадию обычно возникают наложенные пологие прогибы, выполненные континентальными вулканогенно-обломочными формациями. Они образуются в связи с возникновением крупных разломов, придающих субстрату, на котором закладываются эти структуры, блоковое строение. Обычно такие прогибы имеют изометричную форму; слагающие их толщи в целом слабо дислоцированы, хотя в них наблюдаются характерные явления «приразломной» складчатости. С образованием таких структур связано проявление трещинных, часто субвулканических интрузий различного состава, сопровождающихся разнообразной минерализацией. Интрузии обычно многофазны, и их становление тесно переплетается с вулканическими излияниями. Такие структуры широко развиты в областях автономной активизации Западного Забайкалья и Восточного Саяна, Кураминской зоны Тянь-Шаня и Восточной Монголии, а также в пределах Чешского, Верхнерейнского, Родопского, Буреинского, Уссури-Ханкайского и Восточно-Монгольского срединных массивов.

В областях активизации платформ и их щитов эта стадия выражена неотчетливо и практически отсутствует; ее проявление намечается в виде небольших покровов кислых и щелочных эффузивов, которые предшествуют становлению сложных интрузивно-вулканогенных комплексов, например, на Африканской платформе (Западная Африка, плато Джос и массив Аир) и Алданском щите. В эту стадию, по-видимому, возникают крупные поля щелочных эффузивов в зоне Великих разломов Восточной Африки.

Вторая стадия активизации характеризуется возникновением «наложенных терригенных впадин», выполненных грубообломочными континентальными угленосными отложениями. Эти структуры обычно обрамлены крупными зонами долгоживущих тектонических нарушений. Иногда это вытянутые вдоль разломов депрессии, разобщенные поперечными перемычками-поднятиями, сложенные породами фундамента; в этих случаях возникают гирлянды впадин (Забайкалье, Бразилия, Китай). Иногда более крупные межгорные прогибы, имеющие изометричную форму (Алдан, Западная Африка и др.). Общие особенности таких структур — их наложенный характер и незави-

симость развития от структур субстрата, а также тесная связь с разрывными нарушениями, грубообломочный характер выполняющих их толщ и значительная мощность последних.

В областях активизации в связи с развитием таких структур проявлены небольшие по размерам и сложные по составу основные щелочные интрузии; в завершающие периоды активной жизни впадин и обрамляющих их разломов в некоторых регионах происходят значительные излияния базальтов. «Наложенные терригенные впадины» известны в областях активизации складчатых зон (Тянь-Шань, Западное Забайкалье, Скалистые горы и др.), срединных массивов (Родопский, Чешский, Восточно-Монгольский, Буреинский и др.), платформ (Африканская, Индийская) и их щитов (Туарегский, Алданский, Канадский и Бразильский).

Не во всех областях активизации проявляются обе стадии: обычно в областях активизации платформ и их щитов первая стадия в форме «наложенных вулканогенных прогибов» выпадает, хотя интрузивный магматизм, свойственный данной стадии и проявляющийся в виде сложных интрузивно-вулканогенных комплексов, выражен очень отчетливо (Африканская платформа, Алданский щит и др.).

Среди областей автономной тектоно-магматической активизации выделяются две крупные группы структур, которые подразделяются на шесть типов (табл. 12).

К первой группе относятся области автономной активизации, в которых отчетливо выражены наложенные структуры, сформировавшиеся в связи с широким развитием разрывных нарушений. К первому типу таких областей относятся регионы, где четко выражены наложенные прогибы, выполненные континентальными вулканогенными образованиями (I стадия), и угленосные депрессии с континентальными терригенными отложениями (II стадия). Примерами таких областей активизации могут служить Западное Забайкалье, Буреинский, Чешский и Родопский срединные массивы, в пределах которых отчетливо выделяются разновозрастные наложенные структуры указанных типов.

Ко второй группе областей автономной тектоно-магматической активизации относятся регионы, в развитии которых ведущее значение имеют разрывные нарушения, проявляющиеся, как правило, без наложенных структур. Иногда вдоль крупных зон разломов образуются мелкие локальные приразломные впадины, выполненные вулканогенными и терригенными породами, но они не имеют определяющего значения в развитии таких областей активизации. Для этой группы областей очень характерно повторяющееся оживление древних разломов и структурных швов. Вдоль разломов наблюдается перемещение крупных масс, а вся область активизации имеет вид мозаики, поскольку составляющие ее тектонические блоки испытывают движения в

разных направлениях и с различной амплитудой. При этом возникают «пучки» разломов, а также системы разломов «лестничного» типа. Выделяются области активизации с проявлением магматизма и практически без него, хотя в последнем случае почти всегда известны одновременные процессам активизации магматические образования.

Выделенные шесть главных типов областей автономной активизации имеют определенные черты сходства. Несколько особое положение занимают области активизации с мощным осадочным чехлом платформенного типа, в пределах которых развиты телетермальные месторождения; они характеризуются всем «набором» признаков, присущим областям автономной активизации, хотя и несут четко выраженные индивидуальные черты.

Необходимо подчеркнуть, что выделенные шесть типов областей автономной тектоно-магматической активизации представляют собой прежде всего геолого-тектонические типы, которые отличаются и по металлогеническим особенностям. Причем в ряде случаев один геолого-тектонический тип областей активизации может характеризоваться проявлением строго специализированного оруденения, что позволяет выделять большее число металлогенических типов рассматриваемых структур. Причины этого явления еще недостаточно ясны, они кроются прежде всего, очевидно, в специфических особенностях магматических формаций, проявляющихся в областях активизации, и в особенностях разрывной тектоники — процессах, еще недостаточно изученных.

В табл. 12 в общей форме отражены геолого-тектонические особенности областей активизации и показаны характерные черты каждой из них, без детальной характеристики их металлогении.

Области автономной тектоно-магматической активизации представляют собой, как правило, крупные рудные провинции и районы, где каждой стадии активизации свойствен специфический комплекс эндогенных месторождений, включающий сложную гамму рудных образований. Наболее пестрый спектр месторождений возникает в первую стадию активизации. Здесь известны оловоносные, вольфрамоносные и молибденоносные грейзены, высокотемпературные гидротермальные оловорудные и вольфрамовые месторождения, редкоземельные карбонатиты и альбитизированные колумбитоносные граниты, среднетемпературные оловянные, вольфрамовые, молибденовые и золоторудные месторождения, для которых обычно формирование в несколько стадий при интенсивном проявлении в некоторых случаях сульфидного оруденения, а также полиметаллические, медные, урановые и месторождения так называемой пятиэлементной формации. Для этих месторождений характерна тесная связь с небольшими трещинными интрузиями пестрого состава;

ТАБЛИЦА 12

Главные геолого-тектонические типы областей автономной активизации и их металлогеническая характеристика

Характерные особенности	Области с ясно выраженными наложенными структурами при широком развитии разломов		Области с ведущим значением разрывных нарушений (как правило, без наложенных структур)			
	с континентальными „вулканогенными" прогибами (первая стадия) и угленосными депрессиями (вторая стадия)	только с угленосными депрессиями	с трещинными субвулканическими комплексами	с поздними покровами базальтов	практически без магматизма	
Характер субстрата (фундамента), на котором развиваются процессы активизации	Платформы и их щиты, консолидированные складчатые зоны, достигшие платформенного состояния; срединные массивы с выведенным на поверхность кристаллическим основанием		Разнотипные консолидированные структуры складчатых зон; древние кристаллические комплексы щитов и срединных массивов		Древние кристаллические комплексы щитов и срединных массивов	Мощный осадочный чехол платформенного типа
Общий характер тектонического развития; стадийность развития; характер и тип наложенных структур	Направленное, стадийное развитие. Отчетливо выделяются две стадии: а) наложенных вулканогенных прогибов; б) наложенных терригенных угленосных впадин, проявляющихся в условиях континентального режима на фоне общего поднятия, сопровождаемого широким развитием разломов	Развитие главным образом на щитах и срединных массивах с выведенным на поверхность кристаллическим основанием, приразломных угленосных впадин, возникающих на отдельных опущенных блоках на фоне общего поднятия. В некоторых регионах — образование рифтовых зон	Оживление древних расколов на фоне общего воздымания, возникновение протяженных зон тектонических нарушений. Формирование пересекающихся разломов различных направлений (пучков разломов). Локальное образование приразломных мелких прогибов, выполненных вулканическими и угленосными образованиями	Перемещение крупных блоков на общем фоне затухающего поднятия области, сопровождаемого иногда резким опусканием отдельных тектонических мозаик	Интенсивное разломообразование, подновление древних расколов и структурных швов на общем фоне поднятия отдельных крупных блоков	Интенсивное разломообразование, затрагивающее разные структурные этажи; обновление разломов фундамента и их трассирование в верхние этажи
Роль и характер разрывных нарушений	Крайне большая роль разрывных нарушений, типично оживление древних разломов и структурных швов		Широкое развитие разнонаправленных, пересекающихся разломов, образующих своеобразные эпицентры пересечений; характерны системы разломов лестничного типа	Разломы по границам крупных блоков; обновление древних пересекающихся нарушений	Характерно оживление древних разломов; возникновение систем фокусированных разломов; оперяющие нарушения имеют подчиненное значение	Оживление древних разломов фундамента, их развитие в верхние этажи; возникновение специфических зон повышенной трещиноватости и мелкосетчатых зон дробления; возрастание роли оперяющих разломов и межформационных пологих нарушений
	Широкое развитие крупных разломов, дробящих субстрат на мозаику блоков; характерны протяженные разломы с оперяющими системами локальных нарушений	Крупные протяженные расколы, вызывающие опускание отдельных блоков; типичны провалы удлиненных призм; характерны разломы, обрамляющие наложенные вытянутые депрессии; оперяющие разломы локальны	определяющая появление и локализацию месторождений;			

Продолжение табл. 12

Характерные особенности	Области с ясно выраженными наложенными структурами при широком развитии разломов	
	с континентальными „вулканогенными" прогибами (первая стадия) и угленосными депрессиями (вторая стадия)	только с угленосными депрессиями
Осадочные и вулканогенные формации	Наземные вулканогенные: липаритовая, андезитовая, дацитовая, андезито-дацитовая, трахиандезитовая; континентальные пестроцветные, молассовые	Формации платформенных стадий не проявлены. Континентальные, пестроцветные, угленосные молассы. Наземные андезито-базальтовые
Магматизм	Первая стадия: пестрые по составу трещинные, часто субвулканические интрузии гранодиорит-монцонитов, гранитов, гранит-порфиров и щелочных пород. Вторая стадия: основные щелочные интрузии — лимбургиты, тешениты, кринаниты, реже щелочные базальты	Первая стадия (до образования впадин): граниты, гранит-порфиры и сложные комплексы щелочных и кислых пород (кольцевые интрузии). Вторая стадия: основные щелочные интрузии; редко гранит-порфиры
Металлогенические особенности	В первую стадию — сложный комплекс эндогенных месторождений, ассоциирующихся с вулканогенными прогибами и интрузиями определенного состава: для кислых эффузивов и интрузий характерны месторождения Sn, W, реже Mo; для основных и средних — Mo, Cu, Pb и Zn, Au, W с Pb и Zn; для щелочных — TR. Для второй стадии типичны эпитермальные месторождения F, Sb, реже Hg, Mn и W	В первую стадию в связи с кислыми интрузиями — месторождения W и Sn; в связи со щелочными — TR, Ta, Nb. Во вторую стадию — сложный комплекс эпитермальных месторождений F, Sb, Hg, Mn, реже Pb и Zn

Области с ведущим значением разрывных нарушений (как правило, без наложенных структур)			
с трещинными субвулканическими комплексами	с поздними покровами базальтов	практически без магматизма	
	Покровы андезито-базальтов, щелочных базальтов		
Преимущественно субвулканические сложные комплексы щелочных пород, иногда с широким развитием кислых разностей. Характерны кольцевые интрузии	Мелкие тела основных щелочных пород (корни покровов, дайки)	Редкие одиночные дайки основных щелочных пород	
В связи с кислыми гранитоидами — месторождения Sn и W; со средними — Au (?); с щелочными породами — TR, F, Au, реже Pb и Zn	Эндогенное оруденение практически неизвестно	Эпитермальные месторождения F, Sb, Mn, Ba, реже Hg	Телетермальные месторождения Pb и Zn, Ba и F

Продолжение табл. 12

Характерные особенности	Области с ясно выраженными наложенными структурами при широком развитии разломов	
	с континентальными „вулканогенными" прогибами (первая стадия) и угленосными депрессиями (вторая стадия)	только с угленосными депрессиями
Предлагаемый разрез тектоносферы	Уменьшенная мощность земной коры при подчиненном значении гранитного слоя и малых глубинах залегания верхней мантии	
Примеры регионов	Западное Забайкалье (W, Mo, F), Буреинский массив (Sn, F, Sb), Кураминская зона Тянь-Шаня (Pb, Zn, Mo, Cu, Au, F), Родопский (Pb, Zn, Sb, F) и Чешский (Sn, W, Pb, Zn, F, Mn) срединные массивы, Южный Китай (Sn, W, F, Sb, Hg) и др.	Западная Африка (Sn, Ta, Nb, Pb, Zn), Бразилия (TR, F), Индостан (F), зона Великого рифта Восточной Африки (TR, Ta, Nb, F), Армориканский массив (Sn, Pb, Zn, Sb) и др.

часто отмечается локализация месторождений в полях развития дайковых пород (Джидинское вольфрамовое месторождение в Забайкалье, полиметаллическое месторождение Пршибрам в Чешском массиве, полиметаллические месторождения Кураминской зоны Тянь-Шаня, некоторые урановые месторождения Канадского щита — Эльдорадо и др.).

Во вторую стадию активизации во всех регионах формируются месторождения эпитермального типа, представленные флюоритовыми, баритовыми, полиметаллическими, золоторудными, вольфрамовыми, урановыми, сурьмяными и марганцевыми месторождениями.

Флюоритовые месторождения в пространстве тесно связаны с комплексом субвулканических основных щелочных интрузий, характеризующихся большим сходством, несмотря на значительную пространственную разобщенность областей активизации. Такие интрузии выявлены в Западном Забайкалье, Родопском и Чешском массивах, Южной и Западной Африке, Канаде

Области с ведущим значением разрывных нарушений (как правило, без наложенных структур)			
с трещинными субвулканическими комплексами	с поздними покровами базальтов	практически без магматизма	
Резко уменьшенная мощность гранитного слоя и приподнятая мантия	Не ясен; по-видимому, нормальная мощность земной коры с редуцированным сиалическим слоем	Не ясен; вероятно, незначительный сиалический слой при увеличенной мощности базальтового и неглубоком залегании мантии	По-видимому, мощный сиалический слой и приподнятая мантия при редуцированной мощности базальтового горизонта
Канадский щит (TR, F), Алданский щит (Au, F), Центрально-Французский массив (Sn, W, F, Sb, Mn), Испанская Мезетта (W, Sn, Au, Pb), Плато Джос, Западная Африка (Sn, Nb, Ta)	Северо-Западное Забайкалье, северная часть Чешского массива, Центрально-Французский массив, Западная и Центральная Африка и др.	Бразилия (F, Mn), Шварцвальд (Ba, F, Sb), юго-восточная часть Центрально-Французского массива (Sb)	Миссисипи — Миссури (Pb, Zn, F), Алданский щит (Pb, Zn), Прибайкалье (Pb, Zn, F), Силезия (Pb, Zn), обрамление Центрально-Французского массива (Pb, Zn, Ba, F)

и Бразилии. Для других месторождений связь с магматическими породами менее очевидна.

Эндогенные месторождения областей активизации тесно пространственно связаны с наложенными структурами; это особенно характерно для эпитермальных месторождений второй стадии активизации, которые располагаются обычно в обрамлении наложенных угленосных депрессий (Забайкалье, Родопы, Монголия и др.). В Чешском и Буреинском срединных массивах устанавливается приуроченность оловорудных месторождений к впадинам, выполненным вулканогенными толщами; в Родопском массиве к сходным структурам тяготеют полиметаллические месторождения; в Западной Африке в пределах наложенных меловых впадин Южной Нигерии сосредоточены свинцово-цинковые месторождения и т. д.

Ведущий фактор локализации эндогенных месторождений активизированных областей — тектонический, значение его всегда остается главным. В ряде регионов большую роль игра-

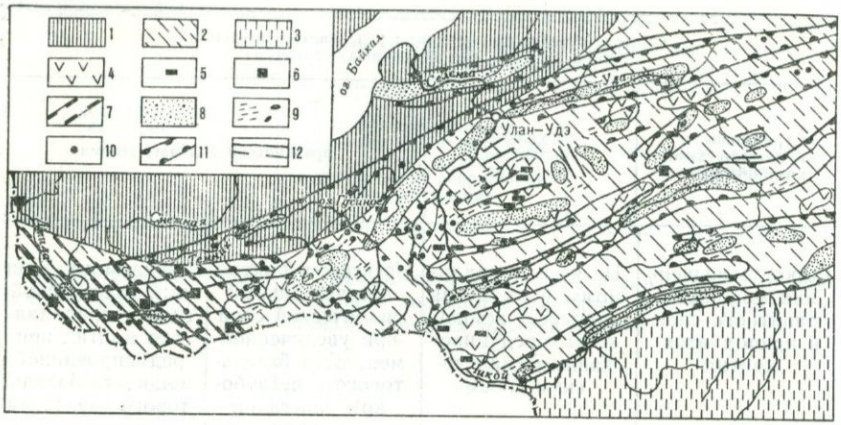


РИС. 19.
Схема размещения мезозойских эндогенных месторождений в активизированных палеозойских складчатых областях Западного Забайкалья.

Складчатые области: *1* — байкальская, *2* — каледонская, *3* — герцинская; *4* — наложенные прогибы, выполненные осадочно-вулканогенными отложениями перми, триаса и, возможно, нижней юры; *5* — молибденовые рудопроявления, связанные с послойными интрузивами; *6* — редкометальные (вольфрамовые и молибденовые) месторождения, ассоциирующиеся с трещинными интрузивами гранит-порфиров; *7* — редкометальные рудные зоны; *8* — наложенные впадины, выполненные угленосными отложениями средней юры — нижнего мела; *9* — основные щелочные интрузии; *10* — флюоритовые месторождения; *11* — зоны эпитермальной минерализации; *12* — разломы.

ют благоприятные литологические факторы контроля, которые в сочетании со структурными определяют размещение богатых руд (Тянь-Шань). Роль магматического фактора в размещении и локализации месторождений областей активизации менее универсальна и характерна главным образом для редкометальных месторождений первой стадии активизации, связанных с трещинными рудоносными интрузиями. В случае ассоциации месторождений с дайковыми полями, что особенно характерно для полиметаллических и реже редкометальных месторождений первой стадии активизации, протяженные дайки иногда служат благоприятными рудолокализующими и рудоэкранирующими структурами (Пршибрам, Чехословакия; Кураминская зона Тянь-Шаня).

Для многих областей активизации характерно линейное размещение месторождений, контролируемое обычно зонами долгоживущих разломов, вдоль которых месторождения, как правило, группируются в отдельных рудных зонах, районах и узлах (рис. 19). Иногда в областях активизации возникают крупные наложенные рудоносные структуры или рудные пояса. Они не характерны для областей активизации срединных массивов, где оруденение локализуется обычно в рудных районах, имеющих изометричную форму, или в локальных рудных зонах, и

весьма типичны для областей активизации складчатых зон и платформ. Такие рудные пояса протягиваются более чем на 1000 км при ширине 200—300 км. К ним относятся Джидинский молибден-вольфрамовый пояс Забайкалья, оловорудный пояс Западной Африки и оловянно-вольфрамовый пояс Южного Китая. Весьма отчетливо выделяются флюоритоносные рудные пояса Забайкалья (Нерча-Хилокский) и Восточной Монголии; намечается выделение крупного пояса флюоритовых месторождений в прибрежных районах Бразилии. Протяженный пояс ртутно-сурьмяных месторождений устанавливается в активизированных структурах на юге Китайской платформы. В Восточной Африке выделяется крупнейший пояс редкоземельных месторождений, приуроченный к зоне Великих разломов. Менее значительны по размерам рудные пояса с полиметаллической минерализацией (Прибайкалье, Тянь-Шань).

Формирование областей автономной активизации и связанных с их развитием эндогенных месторождений в различных регионах происходит в разное время. Наиболее широко распространены в областях автономной активизации мезозойские и кайнозойские месторождения. Позднепалеозойские месторождения известны в активизированных областях некоторых складчатых зон и платформ. К ним, в частности, относятся редкоземельные месторождения Саян и зоны Великих разломов Восточной Африки.

В областях активизации восточно-азиатского сегмента Земли эндогенные месторождения возникают в основном в юрско-меловое время (Алдан, Монголия, Китай и Корейский полуостров).

Вторая стадия активизации и связанные с ней эпитермальные месторождения в большинстве случаев проявляются в позднем мелу — раннем палеогене. Такой возраст, в частности, устанавливается для флюоритовых и полиметаллических месторождений второй стадии активизации Западной Африки, которые залегают в отложениях мела, а также для эпитермальных месторождений срединных массивов Западной Европы. Процессы тектонической активизации киммерийского возраста и связанные с ними рудопроявления в последнее время установлены на западном склоне Украинского щита [468]. Здесь в связи с зонами молодых разломов проявляются полиметаллы, флюорит и барит.

Кайнозойские области активизации с присущим им набором эндогенных месторождений имеют более ограниченное развитие. К ним относятся Родопский срединный массив, Южный Тянь-Шань и, по-видимому, Скалистые горы в США.

В последние годы многие исследователи приходят к выводу о том, что процессы автономной тектоно-магматической активизации характерны не только для молодых, но и для древних эпох. В этом отношении показательны работы Я. Н. Белевцева и др. [22] по Украинскому кристаллическому массиву, где вы-

деляются зоны активизации протерозойского возраста, а также работы Я. Кутины [511, 512], установившего в пределах Канадского щита крупную рифтовую зону, к которой тяготеют протерозойские и раннепалеозойские рудные месторождения. Исследования Я. Кутины [506, 511, 512, 513], посвященные различным вопросам связи региональных тектонических нарушений с оруденением, представляют большой интерес, так как этот исследователь на новом фактическом материале показал широкое развитие процессов активизации в различных регионах мира (Канада, Мадагаскар, Индия, США) и отметил их важное значение для локализации крупных по масштабам месторождений полезных ископаемых.

В последнее время зоны тектонической активизации выявлены на южном склоне Балтийского щита [308]. С ними на территории Эстонии связаны свинцово-цинковые и медно-свинцово-цинковые рудопроявления, залегающие как среди гнейсов фундамента, так и в палеозойских осадочных комплексах чехла платформы и приуроченные к зонам тектонических нарушений. М. М. Одинцов и В. Г. Домышев [273] недавно показали широкое развитие процессов автономной тектоно-магматической активизации на Сибирской платформе. Они выделили в юго-восточной части платформы самостоятельный крупный Ангаро-Вилюйский рудный пояс, в пределах которого развиты юрские месторождения и рудопроявления различных полезных ископаемых.

Важно подчеркнуть, что процессами активизации обусловлено возникновение региональных зон щелочного метасоматоза, а также, возможно, метаморфогенных пегматитов в связи с линейными полями приразломных мигматитов.

Если для Сибирской платформы отчетливо вырисовываются активизированные структуры разных типов, располагающиеся часто в обрамлении платформы, и в настоящее время можно уже считать, что они представляют самостоятельный металлогенический элемент, сложный по геологическому строению и характеру месторождений, то для Русской платформы вопросы развития и проявления процессов активизации изучены еще недостаточно и должны служить предметом дальнейших всесторонних исследований, особенно зоны щелочного метасоматоза, которые, по-видимому, на Русской платформе имеют более широкое развитие.

Значительные исследования, посвященные изучению процессов тектоно-магматической активизации на обширной территории юга азиатской части СССР, были выполнены недавно коллективом сотрудников ВСЕГЕИ [283]. На основе сравнительного структурно-формационного и палеотектонического анализов, в соответствии с более ранними представлениями, было установлено широкое проявление на территории юга азиатской части СССР и прилегающих зарубежных регионов грандиоз-

ных по масштабам процессов тектоно-магматической активизации, приведших к возникновению разнотипных и разновозрастных сводово-глыбовых и блоковых подвижных структур негеосинклинального рода — областей тектоно-магматической активизации. По масштабам проявления, характеру структурно-вещественных комплексов и специфике геодинамического режима эти области составляют самостоятельную категорию структурных элементов континентальной земной коры наряду с геосинклиналями и платформами. Заложение и формирование активизированных областей юга Азиатской части СССР протекали на гетерогенном фундаменте, включавшем платформы и разновозрастные складчатые области — раннедокембрийские, байкальские — раннекаледонские, каледонские, герцинские и мезозойские, принадлежащие двум крупнейшим планетарным подвижным геосинклинально-складчатым поясам — Тихоокеанскому и Центрально-Азиатскому. Наличие определенной периодичности в формировании внегеосинклинальных плутоногенных, вулканогенных и осадочных образований и признаков определенной ритмичности в развитии сводово-глыбовых и блоковых дислокаций позволило выделить в пределах юга азиатской части СССР следующие крупные эпохи тектоно-магматической активизации: ранне-среднепалеозойскую, средне-позднепалеозойскую, позднепалеозойско-раннемезозойскую, раннемезозойскую, позднемезозойскую. В работе приведены данные, свидетельствующие о том, что эти явления имели место и в более древние этапы истории развития рассматриваемой территории.

Среди областей тектоно-магматической активизации в зависимости от характера соотношения их с синхронно развивавшимися геосинклинальными системами различаются два структурных класса: сопряженные и автономные. Для областей автономной активизации характерны значительная удаленность от геосинклинальных зон, проявления специфических геологических формаций и самостоятельность тектонического режима. Были выявлены черты определенной пространственно-временной дисимметрии развития процессов тектоно-магматической активизации в западной и восточной частях рассматриваемой территории. Эти различия весьма наглядны для мезозойской и кайнозойской эпох активизации и сказываются соответственно в затухании интенсивного внегеосинклинального магматизма восточных районов и процессов рифтообразования байкальского типа в меридиональной зоне Ангарского выступа Сибирской платформы; к западу от этой зоны проявления мезозойского магматизма в целом не характерны, существенное изменение претерпевают здесь и формы кайнозойского внегеосинклинального тектогенеза. Охарактеризованы металлогенические особенности областей автономной тектоно-магматической активизации и подчеркнута роль эпитермальных флюоритовых, ртут-

ных и баритовых месторождений, приуроченных к зонам долгоживущих, омоложенных разломов.

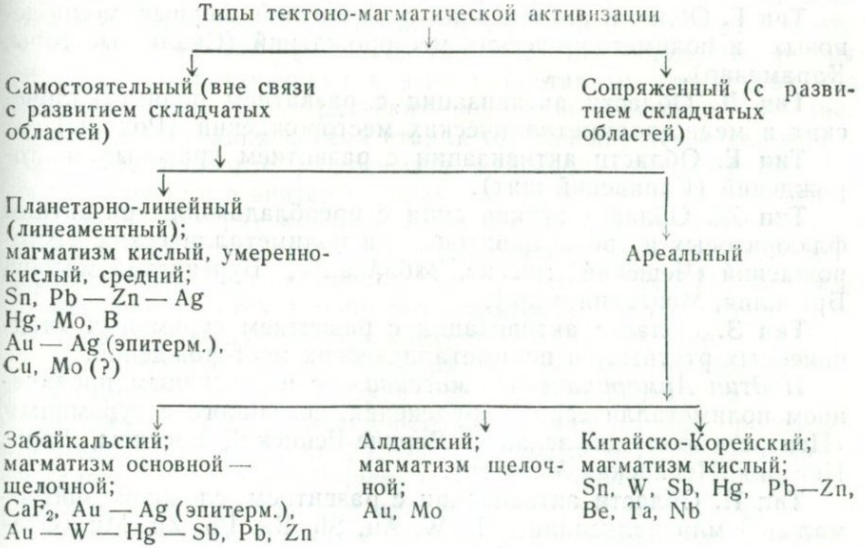
В последние годы много сделано для характеристики процессов тектоно-магматической активизации в складчатых областях, где эти явления ранее практически не устанавливались. Так, например, с новых позиций пересмотрена геология Алтае-Саянской складчатой области, где выявлены основные особенности формирования и металлогении активизированных зон [113]. Установлено, что Алтае-Саянская область, завершив собственно геосинклинальное развитие на рубеже силура и девона и закончив в девоне орогенную консолидацию, в конце палеозоя — мезозое подверглась интенсивным процессам тектонической активизации. Последние отчетливо выражаются в возобновлении блоковых движений по зонам глубинных разломов, которые привели к регенерации этих разломов и проявлении в них базальтового и щелочно-базальтового магматизма.

Характерно, что в Алтае-Саянской области наложенные структуры относятся к типу седиментогенных, а оруденение активизированных зон представлено главным образом эпитермальными месторождениями ртути при подчиненном значении других проявлений (флюорит, барит и др.). В то же время еще далеко не полностью выявлены все особенности процессов активизации в каледонских структурах огромного по площади и сложного по строению Алтае-Саянского региона. Возможно, процессы активизации проявляются в его пределах значительно шире, в специфических формах, в особенности в связи с торцово-блоковым строением отдельных районов, когда возникают (могут возникать) не линейно вытянутые зоны активизации, а изометрические ареального типа структуры активизации, подобные известным в других регионах (например, в активизированных структурах Западного Забайкалья и Алдана). Однако некоторые исследователи все еще считают, что формирование активизированных структур Западного Алтае-Саяна по времени совпадает и тесно связано с заключительными стадиями развития герцинид Зайсанской геосинклинали.

Металлогенический анализ в областях активизации на примере Забайкалья в последние годы выполнен коллективом сотрудников ИГЕМ [236]. Ими показано, что в связи с процессами тектоно-магматической активизации возникают особые группы структур, выявление которых возможно только на основе комплекса методов, включающих палеотектонические, морфоструктурные и другие реконструкции, анализ которых позволяет определить положение палеосводов и блоков, линейные зоны дислокаций и локальные очаговые структуры, а также их роль и значение в размещении оруденения. Разработана комплексная методика составления палеотектонических карт активизированных сводово-глыбовых областей, которая широко использует палеоструктурную, морфоструктурную, геофизиче-

скую, космофотогеологическую и другую информации. Для активизированных областей Забайкалья и смежных регионов показаны определяющее рудоконтролирующее значение линейных нарушений антиобщескладчатого направления и роль сквозных структур, которые предопределяют концентрацию оруденения. В работе большое внимание уделено выявлению современных морфоструктур и анализу размещения оруденения, в частности, кольцевому характеру рудных поясов по отношению к современным мегасводам. Исследование представляет интересный опыт нового, хотя во многом спорного, подхода к выявлению закономерностей размещения месторождений в областях активизации и созданию новых типов структурной основы прогнозно-металлогенических карт.

Несмотря на значительное сходство металлогенических особенностей разновозрастных областей активизации, развивающихся на различном субстрате, тождественных по набору эндогенных месторождений активизированных областей нет. Каждая из этих структур при общем подобии отличается характерными чертами металлогении. М. И. Иициксон [136] приводит следующую схему классификации типов тектоно-магматической активизации.



Нами по особенностям проявления эндогенного оруденения намечается выделение девяти следующих металлогенических типов областй автономной активизации.

Тип А. Области активизации с развитием редкоземельной минерализации в связи со сложными, часто интрузивно-вулканогенными комплексами щелочных пород (Саяны, Восточная

Африка, Бразилия). Для карбонатитовых месторождений наряду с редкоземельной характерно интенсивное проявление флюоритовой минерализации (Восточно-Африканский подтип).

Тип Б. Области активизации с широким развитием высокотемпературных оловянно-вольфрамовых, реже молибденовых и висмутовых месторождений (Чешский, Центрально-Французский, Буреинский, Уссури-Ханкайский, Корнуолл и другие срединные массивы; Западная Африка).

Подтип Западно-Африканский, или Нигерийский,— широкое развитие колумбитоносных гранитов.

Подтип Корнуолла — тесная связь оловянной минерализации с медной.

Подтип Чешского массива — наряду с редкометальной развиты полиметаллическая, урановая и пятиэлементная минерализация.

Тип В. Области активизации с преобладающим развитием вольфрамовых месторождений (часто обогащенных сульфидами) при подчиненном значении оловянных (Западное Забайкалье, Восточная Монголия, Испанская Мезетта, Китай).

Подтип Испанской Мезетты — развитие золоторудных и полиметаллических месторождений, связанных с редкометальными.

Тип Г. Области активизации с развитием медных молибденовых и полиметаллических месторождений (Скалистые горы, Карамазар).

Тип Д. Области активизации с развитием полиметаллических и медно-полиметаллических месторождений (Родопы).

Тип Е. Области активизации с развитием урановых месторождений (Канадский щит).

Тип Ж. Области активизации с преобладающим развитием флюоритовых и реже баритовых и полиметаллических месторождений (Чешский массив, Забайкалье, Буреинский массив, Бразилия, Монголия и др.).

Тип З. Области активизации с развитием сурьмяных (подчиненных ртутных) и полиметаллических месторождений.

Подтип Арморикансного массива — с интенсивным проявлением полиметаллического оруденения, связанного с сурьмяным (Центрально-Французский и Верхне-Рейнский массивы, Гарц, Нигерия, Испанская Мезетта).

Тип И. Области активизации с развитием сложной эпитермальной минерализации — F, W, Au, Sb, Ba, Pb, Zn, Mn (Скалистые горы, частично Забайкалье).

Обычно оруденение той или иной области представлено сложным сочетанием месторождений, но, как правило, с преобладанием одного вида минерализации над другим. В ряде случаев одна область активизации может характеризоваться интенсивным развитием разных месторождений, и тогда она будет нести специфические черты различных металлогенических типов.

В областях активизации, которые развиваются в одну стадию, месторождения часто несут признаки рудных образований обеих стадий. Это особенно отчетливо выражается в проявлении в таких месторождениях интенсивной флюоритовой минерализации, которая, однако, подчинена главному, чаще всего полиметаллическому оруденению (Кураминская зона Тянь-Шаня, Прибайкалье, Алдан).

Эндогенные месторождения первой и второй стадий активизации характеризуются близким набором элементов. И в тех, и в других ведущее значение имеют свинец, цинк, уран, серебро, золото, фтор, марганец, реже барий и стронций. В то же время такие элементы, как олово и вольфрам, молибден, висмут и медь, характерны только для месторождений первой стадии активизации, в которых образуют крупные концентрации. Эндогенным рудным процессам второй стадии свойственны сурьма и ртуть, практически не образующие больших концентраций в месторождениях первой стадии, и в значительно большей степени фтор, барий и марганец. В урановых и полиметаллических месторождениях первой и значительно реже второй стадий активизации иногда широко развиты никелевая и кобальтовая минерализация, фиксируемая в арсенидах и сульфоарсенидах.

Анализ особенностей проявления отдельных элементов в месторождениях областей активизации показывает, что имеются элементы-индикаторы, весьма типичные для эндогенных рудных процессов, протекающих в этих планетарных структурах. Одним из таких специфических элементов является марганец. В месторождениях первой стадии он фиксируется в гюбнерите, триплите, родоните, родохрозите, манганокальците и реже окислах марганца; в эпитермальных месторождениях второй стадии основное значение имеют окислы и гидроокислы марганца при ограниченном развитии других марганцевых минералов. Так, в Джидинском вольфрамовом месторождении (Забайкалье) марганец фиксируется в гюбнерите, триплите и родохрозите, в некоторых урановых месторождениях — в родохрозите, в ряде полиметаллических месторождений — в родоните, родохрозите и манганокальците (Родопский массив, Тянь-Шань), а в виде окислов — в жилах халцедоновидного кварца с флюоритом или в самостоятельных телах в эпитермальных месторождениях Западного Забайкалья, Чешского, Верхне-Рейнского, Центрально-Французского массивов и других областях активизации.

Вторым характерным элементом-индикатором является фтор, образующий крупные концентрации в месторождениях активизированных областей. Для него характерна связь со свинцом и в меньшей степени цинком в единых полиметаллически-флюоритовых месторождениях (Прибайкалье, Кураминская зона, Верхне-Рейнский массив и др.).

Следует подчеркнуть, что наличие флюоритовых месторождений служит надежным индикатором процессов автономной

тектоно-магматической активизации. Это обстоятельство особенно важно в связи с тем, что процессы тектоно-магматической активизации происходят в континентальную послеплатформенную стадию развития земной коры и не всегда фиксируются отчетливо выраженными наложенными структурами, позволяющими достоверно относить те или иные регионы к активизированным областям. Поэтому выявление признаков, указывающих на процессы активизации, имеет практическое значение, так как позволяет по-новому оценивать перспективы достаточно крупных по площади регионов. В этом отношении флюоритовым месторождениям принадлежит особое место — в большинстве известных рудных провинций они формируются в непосредственной связи с процессами тектоно-магматической активизации, являются наиболее молодыми по возрасту и наиболее четко по сравнению с другими месторождениями контролируются зонами долгоживущих тектонических нарушений. Все это позволяет рассматривать их как специфическую группу месторождений, особенности проявления которых указывают на процессы тектоно-магматической активизации в конкретном регионе.

О флюоритовых месторождениях как индикаторах процессов активизации. Среди флюоритовых месторождений, формирующихся в условиях автономной тектоно-магматической активизации, выделяются три группы:

а) флюоритовые и реже барит-флюоритовые месторождения, в большинстве из которых флюорит тесно ассоциируется с халцедоновидным кварцем;

б) сульфидно-флюоритовые месторождения (жильные и стратиформные), в которых полиметаллическая минерализация часто имеет ведущее значение;

в) флюоритовые месторождения в связи с карбонатитами.

В некоторых регионах между месторождениями первой и второй групп наблюдаются тесные взаимопереходы, хотя обычно эти месторождения образуют достаточно контрастно обособленные группы.

Месторождения первой группы широко распространены в Забайкалье, Монголии, Южном Китае, Западной Европе, Средней Азии, Африке и других регионах. В Забайкалье и Монголии флюоритовые месторождения формируются в посленижнемеловое время и приурочены к региональным зонам разломов, обычно обрамляющим наложенные угленосные депрессии. Как правило, месторождения локализуются в оперяющих крупные разрывы трещинах скола.

Особенно отчетливо связь флюоритовых месторождений с процессами тектоно-магматической активизации выявляется в Западном Забайкалье, где месторождения развиваются среди протерозойских и каледонских структур, а их размещение контролируется мезозойскими наложенными впадинами и разломами. Для таких месторождений характерна парагенетическая

связь с основными щелочными интрузиями. Сходные особенности проявления имеют флюоритовые месторождения Юго-Западного Китая, возникающие в процессе тектонической активизации Южно-Китайской платформы [316].

Новые данные о возрасте флюоритовых и сульфидно-флюоритовых месторождений Средней Азии и Западной Европы, полученные в последние годы, позволяют иначе подойти к интерпретации геотектонических условий образования месторождений и предполагать их формирование в условиях тектоно-магматической активизации консолидированных варисских структур. Так, для ряда флюоритовых и сульфидно-флюоритовых месторождений Средней Азии, которые долгое время относились к палеозойским рудным образованиям, в настоящее время доказывается мезозойский возраст, что указывает на их возникновение в период развития сводово-глыбовых структур.

Последние данные геологов ГДР и Чехословакии [480, 536] однозначно свидетельствуют о том, что флюоритовые и баритфлюоритовые месторождения, относящиеся к так называемому саксонскому типу минерализации, имеют мезозойский возраст, и их размещение обусловлено особенностями германотипной тектоники. По Л. Бауману [480, 481], абсолютный возраст флюоритовых месторождений Рудных гор колеблется в интервале 100—170 млн. лет. В пределах Чешского массива флюоритовые месторождения имеют меловой возраст, так как некоторые из них непосредственно залегают в отложениях турона (месторождение Иилове). Высказываются предположения о связи флюоритовых месторождений с основными-щелочными магмами, при этом подчеркивается, что для мезозойских месторождений Западной Европы представления о регенерированном происхождении должны быть отвергнуты. Раннемезозойский возраст устанавливается и для флюоритовых месторождений Центрально-Французского срединного массива, при этом такой возраст имеют как жильные, так и стратиформные месторождения, локализующиеся в триасовых и юрских отложениях в обрамлении массива и контролируемые зонами разрывных нарушений [514].

Месторождения флюорита, развитые на платформах и их щитах, практически повсеместно формируются в мезозое. Это устанавливается для месторождений флюорита Центральной Африки, Индийской платформы, Алданского и Бразильского щитов.

С флюоритовыми месторождениями первой группы в некоторых регионах (Рудные горы, Тянь-Шань) тесно связаны сульфидно-флюоритовые месторождения второй группы, в которых халцедоновидный кварц имеет резко подчиненное значение при возрастающей роли карбонатов и сульфидных минералов. В ряде рудных провинций сульфидно-флюоритовые месторождения представлены стратиформными залежами и располагаются сре-

ди карбонатных толщ на периферии областей активизации (Центрально-Французский массив, Прибайкалье). Для таких месторождений повсеместно устанавливается контроль разрывными нарушениями, однако особенности их локализации обычно определяются суммой различных факторов [514].

Флюоритовые месторождения в связи с карбонатитами, представленные телами массивных флюоритовых руд в карбонатитах или обильной вкрапленностью флюорита в последних, выявлены относительно недавно и известны в областях активизации платформ (Африка), их щитов (Канадский, Бразильский) и зон завершенной складчатости (Восточная Сибирь). Наиболее отчетливая связь таких месторождений с процессами тектоно-магматической активизации устанавливается для карбонатитов зоны Великих рифтов Юго-Восточной Африки, где массивы ультраосновных-щелочных пород и карбонатиты строго приурочены к зонам региональных долгоживущих разломов. Месторождения флюоритоносных карбонатитов имеют различный возраст. Часть из них сформировалась в палеозое (Восточная Сибирь); месторождения Африканского континента образовались в мезозое и кайнозое. Замечено, что месторождения флюоритоносных карбонатитов всегда древнее низкотемпературных гидротермальных месторождений флюорита. Такие взаимоотношения устанавливаются в Восточной Африке и Бразилии, где жильные флюоритовые месторождения формируются позднее ультраосновных-щелочных интрузий, также сопровождаемых флюоритовой минерализацией.

Общей особенностью рассматриваемых групп флюоритовых месторождений является их тесная приуроченность к зонам региональных разрывных нарушений, которые отчетливо фиксируются особенно в областях с выведенными на поверхность древними кристаллическими образованиями. Районы развития флюоритовых месторождений, как правило, совпадают с областями проявления процессов автономной тектоно-магматической активизации, в эволюции которых устанавливаются две стадии. В редких случаях во флюоритоносных провинциях эти стадии выражены неотчетливо или представлены в «эмбриональном» развитии. В этом отношении показательны районы штатов Миссури, Иллинойс и Кентукки в США. Здесь процессы активизации не проявились в виде самостоятельных четко выраженных наложенных структур, однако позднемезозойский магматизм, представленный трещинными телами слюдяных перидотитов и щелочно-основных пород, выражен в этих регионах весьма отчетливо и сопоставим с магматизмом других областей тектоно-магматической активизации. Возраст сульфидно-флюоритовых месторождений Иллинойса датируется в 90—100 млн. лет, при этом доказывается, что оруденение накладывается на щелочные интрузии, для которых по геологическим данным устанавливается меловой возраст [458].

Наиболее характерны для областей тектоно-магматической активизации жильные флюоритовые и реже барит-флюоритовые месторождения первой группы (Забайкалье, Монголия, Китай, Западная Европа, Бразилия и другие регионы). Эти месторождения, как правило, обнаруживают четкую связь с основными-щелочными интрузиями, с которыми, по-видимому, связаны парагенетически (Забайкалье, Родопы, Богемия, Западная Африка).

Особенности проявления флюоритовых месторождений указанных групп позволяют считать, что они являются надежными индикаторами процессов тектоно-магматической активизации. Присутствие таких месторождений в регионах, где процессы тектоно-магматической активизации еще не выявлены, должно служить указанием на развитие таких процессов и необходимость всестороннего дополнительного анализа истории развития данной территории, а также на возможность открытия в этих регионах месторождений других генетических типов, характерных для областей тектоно-магматической активизации. Поэтому наличие даже рудопроявлений и небольших месторождений флюорита указанных групп, особенно в регионах, представляющих древние стабилизированные структуры, имеет важное значение для общей прогнозной их оценки.

Эндогенные месторождения областей активизации обладают рядом характерных генетических особенностей, обусловленных их формированием на незначительных глубинах в условиях крайне небольшого внешнего давления, в ряде случаев, очевидно, соответствующего атмосферному. Общим для многих месторождений является образование в несколько стадий минерализации. Для месторождений областей активизации характерно более раннее проявление редкометальных стадий (вольфрамовых, оловянных, молибденовых) по отношению к золотому, медному, полиметаллическому и урановому оруденению.

В редкометальных месторождениях устанавливаются самостоятельные сульфидные (полиметаллические) стадии, накладывающиеся на существенно вольфрамовые, оловянные и молибденовые руды (Забайкалье, Монголия, Китай, Чехословакия). В таких месторождениях полиметаллическая минерализация тесно переплетается с редкометальной не только в виде самостоятельных стадий, но и входит в состав собственно редкометальных руд. Для некоторых оловянных и вольфрамовых месторождений областей активизации особенно характерно развитие медного оруденения (Хетчес-Крик, Австралия; Джидинское, Забайкалье; Корнуолл, Великобритания; Китай). Обычно рудные процессы в месторождениях первого этапа развития областей активизации заканчиваются проявлением карбонатных стадий и стадий халцедоновидного кварца, сопровождаемых фактором, антимонитом, баритом, киноварью, реже золотом, ураном и марганцевыми минералами, т. е. минеральным комплексом,

дающим в месторождениях второго этапа наиболее крупные концентрации.

Характерной особенностью месторождений областей активизации является довольно часто проявленная в рудных телах вертикальная зональность, обусловленная сменой одних минеральных ассоциаций другими. Она проявляется в результате развития на разных горизонтах руд различных стадий минерализации или в результате дифференциации по вертикали минерального вещества одной стадии минерализации (зональность отложения).

Весьма часто в месторождениях устанавливается обратная вертикальная зональность, обусловленная развитием более высокотемпературных минеральных ассоциаций на верхних горизонтах, а в более низкотемпературных — на нижних горизонтах рудных тел. Для месторождений характерен значительный вертикальный диапазон оруденения, достигающий во многих месторождениях более тысячи метров. Так, на месторождении Пршибрам оруденение прослежено на глубину более 1800 м, на оловорудно-полиметаллических месторождениях Корнуолла вертикальный диапазон минералоотложения превышает 1000 м, а на некоторых полиметаллических месторождениях Родопского срединного массива оруденение установлено на глубинах более 1000 м. В некоторых вольфрамовых месторождениях Забайкалья вертикальные размеры рудных тел достигают 700 м, полиметаллические месторождения Кураминской зоны Тянь-Шаня прослежены на глубину более 1200 м.

В отличие от складчатых зон и платформ формирование эндогенных месторождений в областях автономной активизации, очевидно, связано с глубинными процессами, происходящими, по-видимому, в верхней мантии. На это указывает специфическое строение тектоносферы в областях активизации, для которых характерны уменьшенная мощность земной коры при увеличенных размерах базальтового слоя, а также совпадение с отрицательными гравиметрическими аномалиями.

На специфический характер строения тектоносферы в областях активизации и участие в их развитии глубинных, мантийных частей указывает необычный порядок проявления магматизма в областях активизации, обратный той направленности, которая устанавливается на платформах и в геосинклинальных зонах. Процессы магматизма здесь начинаются с формирования более кислых пород и заканчиваются образованием щелочно-основных пород. Повышенная щелочность основных магм в областях активизации, как это подчеркивает В. В. Белоусов [26, 27], указывает на их более глубинное происхождение по сравнению с геосинклинальной и платформенной магмами.

В проявлении магматизма в областях автономной активизации выделяются три стадии, которые фиксируют определенные этапы развития этих областей.

В первую стадию в некоторых регионах (Западное Забайкалье, Родопский, Буреинский массивы и др.) образуются континентальные вулканогенные формации, в ассоциации с которыми проявляются пестрые по составу трещинные, часто субвулканические интрузии. Выделяются области активизации с преобладающим развитием магматических образований кислого, основного, щелочного и смешанного состава; для каждой из таких областей характерен соответственно свой металлогенический профиль — оловянно-вольфрамовый, полиметаллический, редкоземельный, молибден-вольфрамовый и золотой.

В проявлении магматических образований особая роль принадлежит разрывным нарушениям, которые не только контролируют размещение сложных вулканогенно-интрузивных комплексов, но, очевидно, и обусловливают их появление, являясь магмоподводящими и магмогенерирующими разрывами одновременно.

Очень часто вулканогенно-интрузивные комплексы локализуются в областях активизации на пересечении систем разломов и радиальных разрывов, что обусловливает их отчетливо выраженную групповую концентрацию. Такое положение характерно для щелочных интрузий Алданского, Бразильского и Канадского щитов. Для таких сложных по составу магматических тел типичны лакколитоподобные, штокообразные формы зонально-кольцевого строения, усложненные вулканическими постройками.

Во вторую стадию активизации, которая во многих областях фиксируется образованием наложенных приразломных депрессий, выполненных континентальными молассами и угленосными отложениями, возникают малые субвулканические интрузии (штоки, лакколиты и дайки) основных-щелочных пород (тешениты, кринаниты, лимбургиты, шошониты и др.) и ассоциирующиеся с ними ограниченные по площади поля эффузивов. Такие интрузии известны в Западном Забайкалье, Чешском, Родопском, Верхне-Рейнском массивах, в Африке и в других регионах.

Во всех указанных регионах с этими интрузиями ассоциируются в пространстве и во времени флюоритовые месторождения эпитермального типа. Особенно контрастно такая связь выявляется на примере Западного Забайкалья, где щелочные-основные интрузии характеризуются резко повышенной флюоритоносностью, а в некоторых случаях непосредственным переходом тонких апофиз в кварц-флюоритовые окончания.

Наконец, третья, завершающая стадия проявления магматизма в областях автономной активизации выражена покровами трахибазальтов, слагающих, как правило, небольшие плато. Представителями таких образований являются известные оливин-базальтовые формации Западного Забайкалья, Монголии, Центрально-Французского массива, плато Аир и Тибести в Западной Африке и др.

Эти формации достаточно полно освещены в известных трудах Ю. А. Кузнецова [196, 197], И. В. Белова [23 и др.] и не нуждаются в специальной характеристике.

Проявление магматизма в областях автономной активизации не ограничивается узкими зонами; наиболее интенсивно он проявляется в удалении от геосинклиналей, в центральных частях активизированных областей. Особенно это характерно для эффузивов трахиандезитовой формации, излияния которых захватывают центральные районы областей автономной активизации. Примером могут служить трахибазальты Центрально-Французского массива, Западной Африки, Витимского плоскогорья и других регионов.

В разных областях автономной активизации магматизм различных стадий резко неодинаков по интенсивности и характеру проявления. Для некоторых областей активизации магматизм первой стадии не типичен или проявляется без развития вулканических формаций. В этом отношении показательно проявление молодых оловоносных интрузий в Западной Африке, которые формируются на жестком докембрийском субстрате без предварительного образования наложенных впадин, выполненных вулканическими образованиями. Однако следует подчеркнуть, что становлению оловоносных гранитоидов всегда предшествуют излияния кислых лав, которые в «эмбриональном виде» отражают общую для многих областей активизации особенность, заключающуюся в тесной ассоциации оловоносных гранитов с покровами кислых эффузивов.

Нельзя не отметить и следующие обстоятельства: области активизации часто развиваются на докембрийском кристаллическом основании древних щитов и срединных массивов, уже значительно эродированных к моменту проявления процессов активизации. Такой субстрат представляет собой маломощный гранито-гнейсовый слой земной коры, который, по-видимому, служит только инертным фоном, отражающим развитие сложных процессов, протекающих в нижележащих слоях тектоносферы.

О связи эндогенных рудных месторождений областей активизации с глубинными процессами свидетельствуют и некоторые геохимические их особенности, в частности присутствие в рудах ряда месторождений таких элементов, как никель и кобальт; в ферберитовых месторождениях округа Боулдер (Колорадо) устанавливаются кроме этих элементов повышенные содержания хрома; те же элементы характерны и для сопровождающих оруденение интрузий.

Обращает на себя внимание концентрация в рудах месторождений областей активизации марганца и углерода; последний элемент входит главным образом в состав различных карбонатов, которые очень широко развиты в месторождениях вто-

рой стадии активизации; кроме того, он фиксируется в битумах, которые устанавливаются в рудах некоторых месторождений. Эти, казалось бы, незначительные факты косвенно также подтверждают возможность связи процессов активизации с глубинными процессами, происходящими или в верхней мантии или на ее границе с базальтовым слоем.

Многие исследователи считают, что крайним выражением процессов автономной активизации является образование океанических впадин [26, 27]. В связи с этим следует отметить, что в пределах последних обнаружены значительные концентрации марганца, никеля и кобальта, которые приурочены к зонам развития марганцевых конкреций, выстилающих дно океанов. В последнее время некоторые исследователи связывают образование таких рудных скоплений с излиянием рудоносных терм в водную среду океанических бассейнов [439]. Следует признать, что вопросы связи месторождений полезных ископаемых с развитием областей активизации изучены еще недостаточно; наиболее полно эта проблема решена для эндогенных рудных концентраций. Однако в недалеком будущем она, возможно, затронет вопросы образования месторождений иного типа, в частности некоторых нефтяных проявлений и месторождений, известных в районах, смежных с областями активизации. Повышенная концентрация углерода и присутствие эндогенных битумов в месторождениях областей активизации намечают такие, правда весьма иллюзорные, связи рудных месторождений с нефтяными.

Сложная проблема металлогении областей автономной активизации охватывает широкий круг вопросов. Одним из них является вопрос о возможной связи телетермальных месторождений с процессами автономной тектоно-магматической активизации. В этом аспекте обращает на себя внимание то обстоятельство, что многие телетермальные полиметаллические месторождения образуют зоны, располагающиеся на периферии активизированных областей среди осадочных комплексов слабо затронутых тектоническими движениями, синхронными процессам активизации.

В северном обрамлении области активизации Чешского массива располагается зона развития телетермальных месторождений Силезии (Силезская зона), а на западе, в несколько большем удалении от массива,— Рейнская зона развития телетермальных галенит-сфалерит-сидеритовых и галенит-сфалеритовых руд. Зоны с телетермальными флюоритовыми, баритовыми, свинцово-цинковыми и сурьмяными месторождениями отчетливо обрамляют Арморикансний и Центрально-Французский массивы, а по периферии срединного массива Испанской Мезеты известны Сантандерская зона (на севере) и зона Сьерры-Морены (на юге), в пределах которых широко развиты низкотемпературные месторождения свинца и цинка.

На периферии Кураминской зоны активизации Тянь-Шаня находится рудный район Каратау с характерными полиметаллическими месторождениями телетермального типа. В западном обрамлении мезозойской области активизации Забайкалья сосредоточены галенит-флюоритовые месторождения Прибайкальского полиметаллического пояса. На северо-западе Алданского щита среди карбонатных кембрийских толщ верхнего структурного яруса известны слабо изученные телетермальные свинцово-цинковые месторождения. Последние установлены и в южном обрамлении Балтийского щита на Русской платформе.

Таким образом, многие зоны развития телетермальных месторождений пространственно сопряжены с областями автономной активизации, образуя как бы «бордюр» полиметаллического оруденения вокруг них. Характерно, что в случае проявления полиметаллических месторождений в условиях карбонатной среды обычно возникают согласные стратиформные залежи, которым часто приписывается осадочный генезис. К таким месторождениям относятся рудные залежи Силезской и Сантандерской зон, месторождения Каратау и Алдана.

В случае проявления оруденения в песчанико-сланцевых отложениях возникают протяженные рудные жилы, прослеживающиеся на значительные глубины. Такие месторождения характерны для Рейнской зоны и зоны Сьерры-Морены, где кварцево-карбонатные жилы с баритом, галенитом и сфалеритом локализуются в терригенных породах. Влияние состава вмещающих пород на морфологию рудных тел отчетливо проявлено в Лозерской зоне на юге Центрально-Французского массива, где в известняках образуются пластовые залежи полиметаллических руд, а в гнейсах и сланцах жильные тела. Для многих телетермальных галенит-сфалеритовых месторождений характерно присутствие флюорита, который в ряде рудных районов образует самостоятельные крупные концентрации, как это, например, имеет место в Рейнских сланцевых горах или в штатах Кентукки и Иллинойс в США. В стратиформных залежах полиметаллических месторождений Силезии кроме сфалерита, галенита и пирита встречаются халькопирит, борнит, аргентит, реальгар и редкие сульфосоли.

Определенное сходство минералогических и геохимических особенностей телетермальных месторождений, характерных в одинаковой степени для жильных и стратиформных залежей, с месторождениями областей активизации подчеркивает намечающуюся связь между этими рудными образованиями. Важно также, что в некоторых регионах те и другие месторождения имеют близкий возраст. Все это позволяет предполагать следующее: телетермальные месторождения, располагающиеся на периферии областей автономной активизации, связаны с их развитием и являются своеобразным отражением процессов активизации.

Другим важным вопросом, относящимся к металлогении активизированных областей, является определение понятия о западноевропейском типе минерализации. Ю. А. Билибин [44], рассматривая металлогенические особенности Западной Европы, обратил внимание на своеобразный комплекс рудных месторождений, характерный для этого региона и представленный серебро-свинцово-цинковыми, серебро-кобальт-никелевыми, сидеритовыми, гематитовыми и марганцовыми рудами, а также месторождениями барита, флюорита, сурьмы и ртути. Эти месторождения он объединил в особый западноевропейский тип минерализации, противопоставив его уральскому и восточноазиатскому типам. По мнению Ю. А. Билибина [44], месторождения западноевропейского типа формируются после перехода орогена в платформенное состояние и нередко проникают в горизонтально лежащие породы верхнего структурного яруса, перекрывающие более раннюю складчатую структуру.

Как стало ясно только теперь, Западная Европа является характерным регионом, в котором развиты эндогенные месторождения послеплатформенной, континентальной стадии развития земной коры, проявляющиеся здесь в связи с процессами автономной активизации. Именно поэтому Западная Европа нами рассматривается как своеобразный эталон регионов, где процессы автономной активизации и сопровождающие их эндогенные месторождения проявляются весьма интенсивно. Из изложенного выше следует, что западноевропейский тип минерализации весьма характерен для эндогенного оруденения активизированных областей, которое широко развито во многих других регионах. В связи с этим в понятие о западноевропейском типе минерализации в настоящее время должен быть вложен новый смысл, характеризующий эндогенное оруденение областей автономной активизации.

Такой подход к оценке западноевропейского типа минерализации, с одной стороны, существенно уточняет тектоническое положение данного типа оруденения, а с другой — оставляет открытым вопрос о месторождениях конечных этапов развития подвижных поясов. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно, так как известный автору фактический материал не позволяет проводить знак равенства между западноевропейским типом минерализации и оруденением поздних и тем более конечных этапов развития подвижных зон.

С представлениями о западноевропейском типе минерализации тесно связан вопрос о вторично-гидротермальном, или регенерированном, происхождении эпитермальных месторождений свинца, цинка, урана, флюорита, барита и др., локализующихся главным образом в мезозойских и третичных отложениях областей активизации Западной Европы. Эти месторождения, по нашему мнению, являются типичными представителями рудных образований областей активизации и их аналоги широко рас-

пространены в других регионах мира, где их отнесение (как, впрочем, и месторождений Западной Европы) к вторично-гидротермальным в настоящее время не может считаться обоснованным. Признание областей автономной активизации в качестве особой группы планетарных структур Земли, а также самостоятельного значения связанного с их развитием пестрого спектра эндогенных месторождений позволяет с новых (в полной мере геотектонических) позиций понять место проявления в общем ходе развития структур земной коры так называемых регенерированных месторождений и позволяет говорить о том, что эти месторождения характерны для регионов, где проявились процессы автономной активизации.

Одним из новых вопросов, требующих рассмотрения в связи с проблемой металлогении областей автономной активизации, является вопрос о соотношении процессов тектоно-магматической активизации с тектоникой плит или, точнее, представлений об областях тектоно-магматической активизации с современным вариантом теории мобилизма.

По нашему мнению, в настоящее время неомобилистские геотектонические концепции позволяют только в самом общем, глобальном виде наметить связи рудных месторождений с подвижными зонами разных типов, возникающими на стыке плит. Как известно, элементами областей автономной активизации являются рифтовые зоны с их своеобразной металлогенией, которые рассматриваются одновременно и как характерные структуры, возникающие при дрейфе устойчивых плит. Поэтому хотя в настоящее время еще далеко не ясны все аспекты влияния новой теории развития Земли на металлогенический анализ и установление новых закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре, можно отметить, что области автономной активизации, характеризующиеся рифтовым режимом (особенно на платформах), наиболее близки к тем региональным структурам, специфику развития которых и их металлогению можно интерпретировать с позиций новых представлений глобальной тектоники [245].

Таким образом, металлогения областей тектоно-магматической активизации — новое перспективное направление в науке о закономерностях размещения месторождений полезных ископаемых. Его большое значение определяется прежде всего тем, что в орбиту нашего познания включены в настоящее время вопросы, связанные с изучением металлогении подвижных структур негеосинклинального ряда, ранее почти не привлекавшие внимания исследователей.

Металлогения активизированных областей представляет собой сложную, комплексную проблему, многие аспекты которой требуют дальнейшей разработки и детализации, Изучение областей автономной активизации и их металлогении позволяет наметить определенные связи с новой теорией глобальной тек-

тоники или тектоники плит и увидеть точки соприкосновения теоретической, планетарной тектоники с региональной металлогенией.

Важно отметить большое прикладное значение проблемы металлогении активизированных областей, позволяющее с новых теоретических позиций подходить к перспективной оценке крупных регионов, выявлять и предсказывать новые типы месторождений в пределах, казалось бы, уже хорошо изученных площадей [462].

Познание металлогении активизированных областей, особенностей их геологического и тектонического развития открывает новые перспективы для постановки и организации поисковых работ, способствует повышению эффективности геологоразведочных работ в нашей стране, что в конечном счете должно привести (а в некоторых регионах уже привело!) к открытию новых месторождений, рудных районов и целых провинций.

ГЛАВА 5

МЕТАЛЛОГЕНИЯ СРЕДИННЫХ МАССИВОВ

В последние годы у нас в стране и за рубежом появились интересные публикации, с разной полнотой освещающие вопросы размещения рудных месторождений в этих крайне специфических и своеобразных структурах.

Важное значение срединных массивов в качестве самостоятельных структур было подчеркнуто на совещании по тектонике срединных массивов [394], на котором отмечалось, что исследования последних лет внесли много нового в познание закономерностей строения и истории развития срединных массивов, а также особенностей их металлогении.

Действительно, срединные массивы как особые структуры, характеризующиеся особыми чертами тектонического и металлогенического развития, в настоящее время привлекают все большее и большее внимание исследователей. Всесторонний анализ фактического материала по особенностям тектонического развития и металлогении этих структур в ряде случаев позволяет, как справедливо отмечают эти исследователи, по-новому подойти к освещению некоторых важных вопросов геологической эволюции и металлогении геосинклиналей и на примере срединных массивов рассмотреть ряд вопросов, представляющих общий интерес для познания особенностей проявления рудных процессов в земной коре.

Срединные массивы, являясь в пределах континентальной коры тектоническими элементами первой категории, изучены наименее детально по сравнению с тектоническими структурами такого же ранга. В еще меньшей степени исследованы вопросы

металлогении срединных массивов, освещение которых с различной полнотой и детальностью произведено в отечественной литературе в немногочисленных публикациях [3, 114, 340, 391, 431 и др.].

Существенный вклад в решение проблемы срединных массивов внесло исследование А. Л. Яншина [474], в котором дан всесторонний анализ принципиальных вопросов геологического развития этих структур. Данная работа является наиболее содержательной и полной из посвященных проблеме срединных массивов; в ней обсуждаются точки зрения различных исследователей на природу срединных массивов и в ряде случаев подробно излагаются и критически рассматриваются их представления. Эта важная особенность исследования А. Л. Яншина позволяет нам не приводить подробного обзора существующих представлений о срединных массивах.

По А. Л. Яншину, срединные массивы — это устойчивые участки земной коры, которые сохранили платформенный или близкий к платформенному характер развития, когда вокруг них формировались геосинклинали; это остатки той структурной поверхности, на которой заложились геосинклинальные прогибы данной складчатой области.

В. Е. Хаин [413, 415] отмечает, что срединные массивы, входя в состав геосинклинальных поясов, по особенностям развития и строения занимают промежуточное место между платформами и геосинклиналями, при этом по рангу эти структуры сопоставляются с ними. В некоторых работах он [417] рассматривает срединные массивы как микроконтиненты.

В. Е. Хаин выделяет три разновидности срединных массивов:

1) массивы первого рода представлены обломками древних платформ, сохранившихся со времени заложения геосинклинальных поясов;

2) массивы второго рода являются обломками зон консолидации, возникавших в конце ранних циклов геосинклинального развития (гренвильского, байкальского) данного пояса;

3) массивы третьего рода — обломки площадей ранней консолидации, нарастившиеся по периферии зонами более поздней, но все же предшествующей заключительному этапу развития области, складчатости.

В. Е. Хаин отмечает, что «выделенные типы очень редко бывают представлены в чистом виде. Всегда можно предполагать, что в основе массивов 2-го и 3-го рода находятся более древние, раннедокембрийские глыбы...» [415, с. 178].

По нашему мнению, для срединных массивов чрезвычайно важно наличие в их строении докембрийского основания, и эта особенность должна являться определяющей при выделении подобных структур [460].

Среди исследований, рассматривающих металлогению срединных массивов, важное место занимает небольшой раздел,

посвященный металлогении этих структур, в работе В. И. Смирнова «Металлогения геосинклиналей» [340]. В этой работе впервые в геологической литературе в обобщенном виде дана характеристика особенностей проявления рудных месторождений в пределах срединных массивов. По мнению В. И. Смирнова, в пределах срединных массивов устанавливаются эндогенные месторождения трех периодов: а) древнего, предшествующего оруденения геологического цикла, вследствие которого образовалась складчатая область, включающая срединные массивы; б) современного металлогенической эпохе данной складчатой области; в) молодого, наложенного в связи с регенерацией срединных массивов в последующие циклы геологического развития.

В. И. Смирнов подчеркнул, что срединные массивы, играя роль геосинклинальных рам, в ряде случаев характеризуются металлогенией, свойственной бортовым частям геосинклиналей, и содержат месторождения, сингенетичные и синхронные оруденению, возникающему в пределах геосинклинали на разных стадиях ее превращения в складчатую область.

Позднее значение срединных массивов как своеобразных металлогенических провинций подчеркнули Х. М. Абдуллаев и О. М. Борисов [3], указав, что срединные массивы по характеру оруденения являются промежуточными между платформами и геосинклиналями. Вслед за Е. А. Радкевич и В. И. Смирновым эти исследователи отметили особую металлогеническую роль срединных массивов, характеризующихся специфическими особенностями рудных процессов. Это подчеркивал и Е. Е. Захаров [114] на примере срединных массивов Западной Европы, для которых характерен их поразительно сходный металлогенический облик, выраженный в широком проявлении оловянного, вольфрамового, а местами полиметаллического и уранового оруденения.

Общая характеристика металлогении срединных массивов дана Б. М. Чиковым [431], еще раз подчеркнувшим значение докембрийских и фанерозойских срединных структур как крупных рудоносных провинций с комплексной минерализацией. Им отмечены проявления на срединных массивах кимберлитов (Колорадо, Банчвеулу), а в древних массивах юга Африки — плутонов основного и ультраосновного состава, сопровождаемых богатым хромитовым и никелевым оруденением.

Вопросы металлогении отдельных срединных массивов рассматривали в своих работах Е. А. Радкевич [312, 313], М. И. Иициксон [129], Г. А. Твалчрелидзе [387, 391], П. Лаффит [208], В. Саттран [536], И. Йовчев [137], Н. П. Михайлов [248], Р. Димитров [101], Е. Д. Шлыгин [450], А. Д. Щеглов [458, 460], Д. И. Горжевский, М. Ф. Микунов, Е. И. Филатов [96] и др. В этих работах содержится большой фактический материал, свидетельствующий о своеобразии условий возникно-

вения рудных месторождений в пределах срединных массивов, наличии многих общих особенностей в их проявлении и возможностях единого подхода к оценке геологических факторов, контролирующих локализацию рудных концентраций в этих структурах.

Уточним, что нами под срединными массивами понимаются устойчивые блоки земной коры, располагающиеся в пределах геосинклинальных зон, основание которых сложено докембрийскими метаморфическими комплексами; такие структуры представляют собой по существу обломки древних, докембрийских комплексов, сохраняющиеся в виде консолидированных масс на всех этапах геосинклинального развития данного участка земной коры. Такое понятие срединных массивов соответствует представлениям В. Е. Хаина [415] о срединных массивах первого рода.

В развитии срединных массивов наиболее контрастно выделяются три крупных периода. Первый период связан с образованием кристаллического основания (фундамента) массива; по времени он обычно охватывает архей и протерозой.

Второй период неразрывно связан с геосинклинальным развитием областей, в пределах которых располагается тот или иной массив. Влияние геосинклинальных процессов на жесткие срединные блоки, сложенные докембрийскими образованиями, в различных геосинклиналях неодинаково, но повсеместно крайне значительно. Многие массивы испытывают такое воздействие неоднократно под влиянием разновозрастных геосинклиналей (Родопский, Чешский, Буреинский, Таримский массивы). Под влиянием геосинклинальных процессов в пределах срединных массивов возникают многочисленные разрывные нарушения, обусловливающие образование в теле срединных массивов прогибов, синхронных геосинклинальным. Примером таких прогибов может служить раннепалеозойский Баррандовский прогиб Чешского срединного массива или мезозойский Тырмо-Буреинский прогиб в Буреинском массиве. В процессе развития геосинклиналей одни срединные массивы сохраняют жесткость и устойчивость, испытывая неуклонную тенденцию к воздыманию (срединные массивы Западной Европы, Кокчетавский, Буреинский, Ханкайский, плато Колорадо), а другие под активным воздействием геосинклинального режима приобретают тенденцию к нисходящим движениям. Эти движения наиболее интенсивно проявляются в инверсионную и орогенную стадии развития геосинклиналей.

Третий период в развитии срединных массивов связан с проявлением процессов автономной тектоно-магматической активизации, которые фиксируются наиболее отчетливо в срединных массивах с выведенным на поверхность докембрийским основанием. Процессы автономной активизации рассмотрены в главе 4. Напомним, что они связаны, по нашему мнению, с особой

формой развития континентальной земной коры, приводящей к формированию новых структурных элементов — областей автономной активизации.

Известно, что срединные массивы характеризуются развитием в их пределах разнообразной и широко проявившейся эндогенной минерализации.

На общем фоне складчатых структур устойчивые срединные массивы выступают как крупные рудоносные структуры, в пределах которых и вокруг них концентрируется разнообразное и разновозрастное оруденение.

В планетарном плане многие срединные массивы отчетливо выделяются как своеобразные «очаги минерализации», отличающиеся от смежных территорий наиболее интенсивным проявлением эндогенных месторождений. Это обстоятельство придает металлогеническому анализу срединных массивов большое практическое значение, а изучение самих массивов непосредственно связано с оценкой перспектив и расширением минерально-сырьевых ресурсов.

Срединные массивы как самостоятельные металлогенические провинции характеризуются рядом специфических особенностей. Главная металлогеническая особенность этих структур состоит в следующем: на площади срединных массивов в ряде случаев пространственно совмещены рудные месторождения, характерные для принципиально различных структур земной коры: платформ, геосинклиналей и областей автономной тектоно-магматической активизации. В фундаменте массивов, сложенном докембрийскими образованиями и в структурном отношении представляющем крупные обломки платформ, известны месторождения, по своим особенностям сопоставимые с рудными образованиями древних щитов. Это главным образом осадочно-метаморфические и пегматитовые месторождения, встречающиеся при резко подчиненном значении гидротермальных рудных образований. С процессами геосинклинального развития земной коры и формированием геосинклинальных прогибов, окружающих срединные массивы, связаны многочисленные главным образом гидротермальные, реже магматические месторождения (иногда платформенного типа). Их возникновение по времени всегда синхронно определенным стадиям развития геосинклиналей, примыкающим к срединным массивам. Наконец, в процессе автономной тектоно-магматической активизации срединных массивов формируются многочисленные гидротермальные месторождения разных типов.

Таким образом, срединные массивы являются единственными крупными геологическими структурами, в пределах которых месторождения указанных выше трех групп встречаются совместно. Эта особенность металлогении срединных массивов придает им особый, специфический облик, присущий только данным структурам земной коры.

Другая важная металлогеническая особенность срединных массивов — широкое развитие в их пределах гидротермальных месторождений, образующихся в связи с процессами тектоно-магматической активизации. Как подчеркивалось нами ранее [458, 459, 460], многие срединные массивы представляют собой характерные области автономной активизации с необычайно интенсивным проявлением эндогенных месторождений, сопровождающих эти процессы. Отмечалось, что явления автономной активизации обусловлены, очевидно, процессами, происходящими в мантии, о чем свидетельствует характерный разрез тектоносферы, устанавливаемый для срединных массивов и свойственный областям активизации. С процессами отраженной тектоно-магматической активизации также связано образование в пределах срединных массивов многих рудных концентраций. К ним относятся, например, медно-молибденовые месторождения Иранского массива, медно-никелевые месторождения Кокчетавской глыбы, а также молибденовые, золоторудные и редкометальные месторождения Охотского, Родопского, Паннонского и других массивов.

Третья важная особенность металлогении срединных массивов состоит в том, что для локализации рудоносных интрузий и самих месторождений ведущее значение имеют разрывные нарушения, которые определяют всю картину сложного пространственного размещения рудных концентраций.

Четвертая особенность металлогении срединных массивов заключается в следующем: исключая месторождения докембрия, практически для всех месторождений характерны приповерхностные условия образования, многостадийность их формирования в широком диапазоне температур с развитием и часто преобладанием руд низкотемпературных стадий минерализации. Наконец, пятая особенность — для большинства месторождений срединных массивов намечаются парагенетические связи с магматизмом, а для некоторых весьма тесная пространственная связь с вулканическими сложными по строению и составу комплексами, где становление субвулканических интрузий тесно переплетается и чередуется с проявлением наземного вулканизма.

Принципиальная схема металлогении срединных массивов дана на рис. 20.

Месторождения разных типов и этапов развития проявляются в срединных массивах с различной интенсивностью. Это обстоятельство позволяет выделить девять металлогенических типов срединных массивов, характеризующихся преобладающим развитием того или иного типа минерализации.

а. Срединные массивы с преобладающим развитием разнообразных докембрийских месторождений. К таким массивам относятся Байкальский, Муйский и Памирский. В пределах этих массивов ведущее значение имеют пегматитовые месторожде-

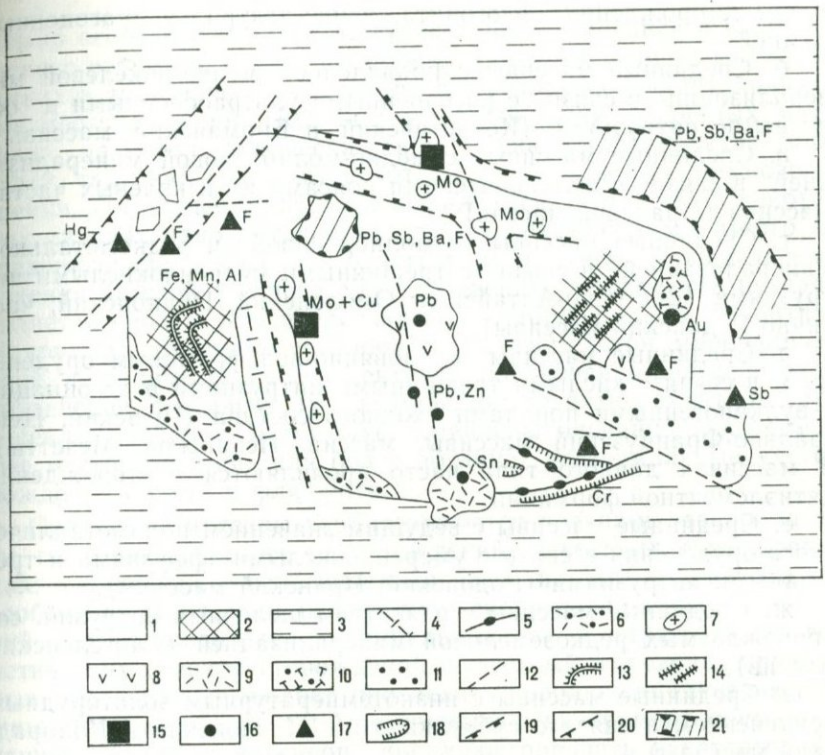


РИС. 20.
Принципиальная схема металлогении срединных массивов.

1 — основание срединного массива, сложенное главным образом докембрийскими толщами; *2* — выходы наиболее древних пород; *3* — складчатое обрамление.
Наложенные структуры отраженной тектоно-магматической активизации: *4* — «вложенные» прогибы геосинклинального типа, иногда с осадочными месторождениями железа и марганца (по возрасту прогибы синхронны складчатому обрамлению); *5* — шовные ультраосновные интрузивы с месторождениями хромитов; *6* — вулканические пояса, сложенные наземными эффузивами с широким развитием трещинных интрузий с медно-молибденовой минерализацией; *7* — трещинные интрузии, сопровождаемые молибденовым, медным, реже золотым и вольфрамовым оруденением. Наложенные структуры автономной тектоно-магматической активизации: прогибы, выполненные эффузивами: *8* — основного, *9* — кислого и *10* — среднего состава; *11* — наложенные впадины с терригенными угленосными отложениями, в пределах которых проявляются основные щелочные интрузии; *12* — разрывы
Месторождения: фундамента массива (докембрийские): *13* — осадочно-метаморфические железа, марганца, графита, алюминия (дистеновые, ставролитовые сланцы), *14* — пегматитовые (слюда, керамическое сырье, редкие металлы); периода отраженной активизации: *15* — молибденовые, вольфрамовые (шеелитовые); периода автономной активизации: *16* — полиметаллические, оловянные и оловянно-вольфрамовые, золотые первой стадии активизации, *17* — флюоритовые, сурьмяные, ртутные второй стадии активизации; рудные зоны: *18* — с хромитовыми, магнетитовыми, тальковыми месторождениями в связи с ультраосновными интрузиями, *19* — с медными, медно-молибденовыми и вольфрамовыми месторождениями в связи с трещинными умереннокислыми («отраженными») интрузиями; *20* — зоны эпитермальной флюоритовой, ртутной и сурьмяной минерализации в связи с молодыми зонами разломов; *21* — зоны (в обрамлении массива) и районы (в пределах чехла массива) с телетермальными обычно стратиформными месторождениями свинца, цинка, сурьмы, барита и флюорита

ния, месторождения флогопита, ляпис-лазури и драгоценных камней.

б. Срединные массивы с проявлением медно-никелевой минерализации в связи с расслоенными ультраосновными и основными интрузиями (Кокчетавский и Бирманский массивы).

в. Срединные массивы с медно-молибденовой минерализацией в связи с вулканическими поясами и в краевых частях массива (Иранский массив).

г. Срединные массивы с молибденовой и редкометальной минерализацией в связи с трещинными умереннокислыми интрузиями (Восточно-Алтайский, Омолонский, Паннонский, частично Родопский массивы).

д. Срединные массивы с оловянно-вольфрамовым оруденением в связи с кислыми трещинными интрузиями в ассоциации с вулканогенными породами сходного состава (Чешский, Центрально-Французский массивы, массив Испанской Мезетты). В массивах данного типа часто проявляются месторождения пятиэлементной формации.

е. Срединные массивы с ведущим значением полиметаллического оруденения в связи с умереннокислыми эффузиями и трещинными интрузиями (Родопский, Иранский массивы).

ж. Срединные массивы с развитием щелочных интрузий, сопровождаемых редкоземельной минерализацией (Сангеленский массив).

з. Срединные массивы с низкотемпературным золоторудным оруденением в связи с субвулканами (Паннонский и Колорадский массивы).

и. Срединные массивы с эпитермальным комплексным сурьмяным, полиметаллическим, флюоритовым и баритовым оруденением (Арморикансний, Верхне-Рейнский массивы).

Выделение перечисленных металлогенических типов срединных массивов произведено более чем условно, так как срединных массивов, где встречаются только месторождения одной из девяти групп, практически нет. В массивах каждого типа, исключая первый, известны месторождения разного возраста и этапов развития. Примером таких массивов может служить Чешский срединный массив, в пределах которого известны: в его основании докембрийские месторождения графита и золота; с развитием смежных геосинклинальных прогибов связаны осадочные месторождения железа и марганца, а также, очевидно, небольшие месторождения олова, вольфрама и молибдена; процессами автономной активизации обусловлено проявление в пределах массива послепермских оловянно-вольфрамовых, полиметаллических месторождений пятиэлементной формации, а также флюоритовых, баритовых, сурьмяных и марганцевых месторождений.

Выделенные группы срединных массивов являются своеобразными «металлотипами» данных структур, отражающими не

только особенности их металлогении, но и особенности геологического развития, масштабы проявления тех или иных магматических и тектонических процессов, предопределяющих появление месторождений. Подобная классификация срединных массивов на металлогенические типы важна и для практических целей, так как содержит некоторые элементы их прогнозной оценки. Последнее, например, выражается в том, что в некоторых случаях одно оруденение служит антагонистом другого и, следовательно, в массивах одного типа не следует ожидать выявления не свойственного ему оруденения, которое или не проявляется вообще или представлено в эмбриональном развитии. Например, срединные массивы с редкоземельной минерализацией, по-видимому, не перспективны на оловянно-вольфрамовое оруденение, а в массивах, где проявляется пятиэлементное оруденение, наоборот, могут быть выявлены оловянно-вольфрамовые месторождения или более поздние эпитермальные месторождения барита и флюорита.

Срединные массивы характеризуются большим разнообразием генетических типов месторождений, известных в их пределах; это связано с особенностями развития этих структур и их особым тектоническим положением среди складчатых сооружений более молодых геосинклинальных зон. Пестрый спектр генетических типов месторождений, известный в пределах срединных массивов, позволяет проследить эволюцию генетических типов рудных образований во времени и на примере месторождений срединных массивов проиллюстрировать некоторые общие закономерности накопления металлов в истории развития земной коры. Они выражаются в том, что в докембрии и раннем палеозое наиболее широко развиты месторождения железа, титана, платины, хрома, кобальта, никеля; в позднем палеозое и мезозое — меди, цинка, свинца, бериллия, вольфрама и олова; в позднем мезозое и кайнозое — молибдена, висмута, сурьмы, ртути, серебра, золота (?), бора и урана. При этом одни элементы отчетливо обнаруживают тенденцию к все более интенсивному накоплению в молодых эпохах (Mo, Cu, Ag, Hg, Sb, B), а другие — к закономерному убыванию интенсивности накопления после максимума образования в наиболее древних эпохах (Fe, Ti, Co, Ni).

С докембрийскими образованиями фундамента массивов связаны осадочно-метаморфические месторождения графита (Чешский, Кокчетавский), железа, марганца и, по-видимому, фосфора. Весьма широко развиты в связи с древними гранитами пегматитовые месторождения, среди которых устанавливаются мусковитоносные и редкометальные. К докембрийским относятся флогопитовые месторождения Памирского и Байкальского срединных массивов, представленные несколькими генетическими типами: пегматитовым, гидротермальным и скарновым. Особое место занимают месторождения драгоценных и поде-

лочных камней (рубины, сапфиры, шпинели, ляпис-лазури, (полихромные турмалины); эти месторождения связаны не только с пегматитами, но и возникают в зонах контакта карбонатных пород с ультраосновными интрузиями (Бирманский массив).

Из гидротермальных месторождений среди докембрийских рудных образований в фундаментах массивов известны небольшие полиметаллические и золоторудные. Докембрийский возраст первых обычно однозначно не доказывается. Золоторудные месторождения, очевидно, во многих случаях являются метаморфогенными; с ними как, правило, связаны россыпи, коренные рудопроявления самостоятельного значения обычно не имеют.

К докембрийским условно относятся некоторые хромитовые, асбестовые, тальковые и магнезитовые месторождения и рудопроявления, известные в некоторых срединных массивах (Родопский, Чешский, Арморикансний, Ханкайский и др.); как правило, эти рудные образования всегда имеют незначительные размеры.

Среди рудных месторождений, возникающих в срединных массивах в связи с развитием смежных геосинклиналей, известны небольшие осадочные, возможно, осадочно-гидротермальные месторождения железа и марганца, встречающиеся в небольших наложенных приразломных прогибах, выполненных терригенными мелководными осадками раннего палеозоя (Арморикансний, Центрально-Французский, Чешский массивы). Характерно появление в жестких структурах массивов магматических месторождений; к ним относятся хромитовые, связанные с ультрабазитами, которые по зонам разломов глубоко проникают в тело массивов (Родопский, Анатолийский, Иранский массивы). Другую группу месторождений образуют медно-никелевые, связанные с расслоенными перидотит-пироксенит-норитовыми массивами, известными в пределах Кокчетавского массива. Сходные по составу трещинные дайкового типа интрузии отмечаются в Бирманском срединном массиве, где на контакте этих пород с кальцифирами возникают своеобразные скарноподобные образования с драгоценными камнями.

В связи с развитием процессов автономной тектоно-магматической активизации в срединных массивах возникают многочисленные месторождения, представленные крайне пестрым спектром разнообразных рудных образований. Ведущее значение среди них имеют гидротермальные месторождения, образующиеся в условиях средних и низких температур и небольших давлений. Характерно, что между некоторыми, казалось бы, совершенно различными по составу месторождениями устанавливаются постепенные, но четко выраженные взаимопереходы в минеральном составе, иногда наблюдаемые в пределах одного рудного поля и реже в пределах месторождения.

Среди срединных массивов, подвергшихся процессам автономной тектоно-магматической активизации, устанавливаются оловоносные, вольфрамоносные и молибденоносные грейзены, редкоземельные карбонатиты, альбитизированные рудоносные апограниты, среднетемпературные оловянные, вольфрамовые, молибденовые и золоторудные месторождения, иногда сопровождаемые висмутовой минерализацией, а также полиметаллические месторождения и месторождения «пятиэлементной» формации, в которых отдельные звенья пятиэлементной ассоциации проявляются с различной интенсивностью и полнотой.

Во вторую стадию активизации обычно формируются низкотемпературные приповерхностные эпитермальные месторождения, среди которых выделяются флюоритовые, баритовые, полиметаллические, золоторудные, сурьмяные, марганцевые и урановые месторождения. Наиболее характерны флюоритовые месторождения, которые служат отчетливыми индикаторами процессов автономной активизиции. Среди минеральных образований этой группы известны также своеобразные жильные месторождения самородной серы и гипса (Таримский массив).

Наиболее широко развиты в связи с трещинными интрузиями разного состава, локализующимися в краевых частях массивов, гидротермальные месторождения, среди них молибденовые и медные образуют часто комплексные рудные образования. Намечается связь медно-молибденовых месторождений с вулканическими поясами, тогда как только молибденовые месторождения, особенно сопровождаемые полиметаллическим и редкометальным оруденением, как правило, проявляются в связи с трещинными интрузиями умереннокислого состава, для которых их ассоциации с вулканитами менее характерны или не характерны совсем.

Примером срединных массивов с развитием месторождений первого генетического типа служит Иранский срединный массив; Родопский, Восточно-Алтайский, Буреинский, Паннонский массивы являются представителями структур, где развиты месторождения второго типа. В некоторых массивах с гранитоидными интрузиями ассоциируются золоторудные месторождения, а со щелочными — редкоземельные карбонатиты (Кокчетавский массив), при этом образование карбонатитов происходит раньше гидротермальных руд.

Месторождения олова и вольфрама в срединных массивах в связи с «отраженными» геосинклинальными гранитами редки; первые практически неизвестны или представлены небольшими пегматитовыми образованиями (Памирский массив); вторые обычно тяготеют к молибденовым месторождениям и представлены кварц-шеелитовыми или кварц-шеелит-молибденовыми рудами, часто с полевым шпатом. Для гидротермальных месторождений, возникающих в связи с процессами отраженной активизации, характерно формирование в несколько стадий мине-

рализации, когда среднетемпературные стадии оказываются проявленными наиболее интенсивно и с ними связано образование промышленных руд.

Д. И. Горжевский, М. Ф. Микунов и Е. И. Филатов [96] показали большое значение срединных массивов для локализации полиметаллических месторождений, когда одни свинцово-цинковые провинции связаны с процессами регенерации геосинклинального режима в пределах срединных массивов (Юго-Западный Гиссар, Малый Кавказ и др.), а другие — с процессами их тектоно-магматической активизации (Родопский, Испанская Мезетта, Чешский массивы и др.). Эти исследователи подчеркнули особую роль в размещении свинцово-цинковых месторождений стратиформного типа процессов автономной тектонической активизации консолидированных срединных массивов.

Необходимо особо рассмотреть одну из своеобразных и характерных особенностей металлогении срединных массивов, придающую этим структурам большой практический интерес. Это линейное, поясовое размещение оруденения в краевых частях массивов и прежде всего во внешнем их обрамлении, в зонах долгоживущих крупных разломов, отграничивающих массив от окружающих их геосинклинальных прогибов. В такой структурной позиции возникают многочисленные рудные пояса, нередко протягивающиеся на многие сотни километров.

Можно выделить несколько типов региональных рудоносных структур или рудных поясов, возникающих в обрамлении срединных массивов и характеризующихся разнообразной и сложной минерализацией. Эти рудные пояса, как правило, весьма контрастно проявлены в общем металлогеническом рисунке регионов и относятся к рудоносным структурам первой категории.

В настоящее время устанавливаются наиболее отчетливо следующие пять типов рудных поясов: хромитоносные, редкометальные, золоторудные, ртутно-сурьмяные и с полиметаллической минерализацией.

Хромитоносные рудные пояса наиболее отчетливо проявлены в Средиземноморском геосинклинальном поясе, где они образуют протяженные линейные структуры, отчетливо обрамляющие срединные массивы. Такие рудоносные структуры фиксируются на севере и юге Анатолийского массива, по северной границе Родопского массива, по южному и северному обрамлению Иранской срединной структуры.

Среди хромитоносных рудных поясов и зон, располагающихся в обрамлении срединных массивов, выделяются два типа рудоносных структур: а) рудные пояса и зоны, приуроченные к троговым частям узких эвгеосинклиналей, опоясывающих срединные массивы (Восточная Анатолия, Южный Иран), и б) рудные пояса и зоны, приуроченные к краевым разломам на сочленении срединных массивов с геосинклинальными прогибами (Северные Родопы; массив Чаган в Пакистане).

Редкометальные рудные пояса, в пределах которых сосредоточены оловянные, вольфрамовые и комплексные оловянно-вольфрамовые месторождения, связанные с гранитными интрузиями, немногочисленны. Типичный представитель таких рудоносных структур — Колымский оловянно-вольфрамовый рудный пояс, окаймляющий с севера и юго-запада одноименный срединный массив и протягивающийся более чем на 1500 км. Другим примером сходных региональных редкометальных поясов, располагающихся в зонах сочленения со срединными массивами, является Гиссарский редкометальный пояс Южного Тянь-Шаня, примыкающий к северной границе Южно-Гиссарского срединного массива. Приуроченность редкометального оруденения к периферии срединных массивов достаточно отчетливо выявляется и на примере Северо-Тонкинского массива, где в обрамлении этой структуры известны зоны с оловянно-вольфрамовой минерализацией, связанной с гранитоидами.

Золоторудные пояса наиболее контрастно проявлены в обрамлении Колымского срединного массива. Здесь выделяется Яно-Колымский золоторудный пояс. Близкое по характеру размещение золоторудных месторождений по периферии срединных массивов намечается в пределах каледонской складчатой зоны для южного обрамления Кокчетавского массива в Казахстане.

Кроме отмеченных золотоносных структур в пределах срединных массивов намечается выделение второго типа структур, приуроченных к краевым поднятиям массивов, сложенным докембрийскими комплексами. К таким структурам нами относятся золоторудные зоны краевых поднятий Паннонского и Колорадского срединных массивов. Эти рудные зоны имеют характерные дугообразные очертания, в общих чертах совпадающие с контурами краевых поднятий; в их пределах месторождения располагаются, как правило, в поперечных разломах и связаны с молодыми субвулканическими образованиями.

Такие месторождения возникают, по нашим представлениям, в связи с процессами автономной активизации и локализуются в рудоносных структурах, опоясывающих срединные массивы не с внешней, а с внутренней их стороны, располагаясь в пределах краевых поднятий с выведенным на поверхность докембрийским основанием. Следует отметить, что первый тип золоторудных поясов как крупных рудоносных структур, связанных непосредственно с развитием срединных массивов, выделяется в значительной мере условно, и автору понятны возможные критические замечания по поводу некоторой «надуманности» связей месторождений золота с развитием срединных массивов, которые располагаются, например в случае Колымского массива, на значительном удалении от последнего, в центральной части мезозойского геосинклинального пояса.

К числу рудоносных структур в обрамлении срединных массивов относятся некоторые *ртутно-сурьмяные рудные пояса*, оконтуривающие с севера и востока Буреинский массив, и крупная ртутоносная структура, прослеживаемая по северо-западной окраине Колымского массива. За рубежом ртутно-сурьмяный рудный пояс отчетливо выделяется на юге Анатолийского срединного массива, который протягивается в широтном направлении практически через всю территорию Турции.

Для указанных ртутоносных структур иногда характерна локализация месторождений в зонах разломов, ограничивающих приподнятые блоки раздробленных краевых частей массивов. Поэтому, например, в Анатолии палеогеновые (?) ртутно-сурьмяные месторождения часто локализуются среди древних комплексов.

Ртутно-сурьмяный рудный пояс достаточно отчетливо намечается в юго-восточном обрамлении Иранского срединного массива, где небольшие сурьмяные и ртутные месторождения локализуются в протяженных зонах разломов по периферии жесткой структуры Чагаи. Сходное структурное положение занимают ртутные месторождения, располагающиеся в обрамлении Бирманского и Северо-Тонкинского срединных массивов. Как правило, ртутно-сурьмяные рудные пояса образуют протяженные рудоносные структуры (многие десятки и сотни километров).

Для многих срединных массивов, расположенных в пределах геосинклинальных зон различного возраста и типов, характерно развитие в их складчатом обрамлении рудных зон и более крупных рудоносных структур — *рудных поясов с полиметаллической минерализацией*, представленной главным образом свинцово-цинковыми средне- и низкотемпературными месторождениями. Такие рудные пояса известны в северном обрамлении Таримского массива (Кашгарский рудный пояс), где свинцово-цинковые месторождения прослеживаются в виде широкой полосы на протяжении более 600 км. В пределах этого пояса полиметаллические месторождения представлены жильными и прожилково-вкрапленными образованиями, при подчиненном значении стратиформных тел.

Для срединных массивов Западной Европы характерно развитие в их обрамлении телетермальных полиметаллических месторождений, очень часто представленных согласными рудными залежами [460].

В отличие от рассмотренных медно-молибденовые рудные пояса возникают в срединных массивах в пределах их внутренних краевых зон непосредственно на жестком основании массивов. Формирование таких рудоносных структур связано с развитием вулканических поясов, которые образуются в краевых частях массивов на их сочленении с геосинклинальными прогибами. Такие рудоносные структуры, возникающие в жестких рамах геосинклиналей, которыми и являются срединные масси-

вы, имеют значительные размеры, определяемые параметрами соответствующих вулканических поясов.

Наиболее отчетливо подобные структуры фиксируются в пределах Иранского срединного массива, где огромный медно-молибденовый пояс прослеживается по юго-восточной кромке массива из районов Пакистана до Армении; его менее ясно выраженная северная ветвь протягивается параллельно складчатым сооружениям Эльбурса в широтном направлении. В пределах Иранского срединного массива медные и молибденовые месторождений связаны с субвулканическими, трещинными интрузиями монцонит-гранодиоритового состава, входящими в состав сложной интрузивно-вулканической серии пород, слагающих вулканические пояса, возникающие в континентальных условиях на жестких структурах массивов.

Сходная минерализация проявляется в Охотско-Чукотском вулканическом поясе, отчетливо накладывающемся на консолидированные сооружения Охотского и Омолонского массива, где молибденовые месторождения локализуются в относительно непротяженных рудных зонах.

Медно-молибденовые рудные пояса, возникающие в пределах срединных массивов, немногочисленны и изучены еще недостаточно. Наиболее контрастным их представителем является Южно-Иранский медно-молибденовый рудный пояс, очертания которого совпадают с вулканическим поясом, протягивающимся на многие сотни километров вдоль южного и юго-западного краев Иранского срединного массива.

Таким образом, срединные массивы неразрывно связаны с крупными линейными рудоносными структурами или рудными поясами, располагающимися на их периферии.

Устанавливается, что в связи с развитием геосинклинальных прогибов сиалического профиля, для которых характерны образование песчано-сланцевых толщ и развитие гранитоидных пород, происходит формирование вокруг срединных массивов оловянно-вольфрамовых рудных поясов (Колымский, Южно-Гиссарский, Северо-Тонкинский массивы), тогда как с развитием прогибов симатического профиля, где широко распространены карбонатно-вулканогенные субмаринные комплексы и ультрабазитовые интрузии (Иранский, Анатолийский массивы), связано возникновение хромитоносных поясов. Если для указанных рудных поясов такая связь с прогибами разного типа является постоянной, то ртутно-сурьмяные рудные пояса возникают по периферии массивов в случае их обрамления геосинклинальными прогибами как симатического, так и сиалического профилей.

Анализ особенностей проявления медно-молибденовых и хромитовых месторождений в обрамлении срединных массивов, в особенности на примере ряда массивов Средиземноморского геосинклинального пояса, позволяет наметить определенные

связи между проявлением этого типа оруденения и эволюцией жестких блоков земной коры, а также связать представления о региональных особенностях размещения данных месторождений с современным вариантом теории мобилизма — тектоникой плит.

По-видимому, на стыке жестких плит срединных массивов и обрамляющих их геосинклиналей возникают так называемые зоны Беньофа, фиксируемые непосредственно вблизи массивов зонами меланжа, к которым приурочены тела хромитоносных серпентинитов.

В пределах самих жестких глыб возникают вулканические пояса с медно-молибденовым оруденением. Такая схема близка к характерной с позиций глобальной тектоники схеме размещения рудных поясов, устанавливаемой в Кордильерах и Андах.

В заключение краткой характеристики металлогении срединных массивов следует отметить, что срединные массивы представляют собой своеобразный тип металлогенических провинций, характеризующихся специфическими чертами эндогенного оруденения, несущими признаки, свойственные минерализации платформ, геосинклинальных зон и областей автономной тектоно-магматической активизации. В этом отношении металлогенические провинции срединных массивов не имеют себе подобных и резко отличаются от металлогенических провинций других структур.

Сочетание оруденения, принадлежащего складчатому основанию массивов, возникающего в связи с развитием геосинклиналей и проявляющегося при процессах автономной активизации придает срединным массивам особый металлогенический облик и позволяет выделять их в самостоятельный тип металлогенических провинций, характеризующийся разнообразным комплексом рудных месторождений. Такие провинции отличаются от окружающих территорий особенностями геологического строения, тектонического развития и характерным разрезом тектоносферы, что в совокупности наряду со спецификой проявления рудных процессов отвечает всем признакам самостоятельных крупных металлогенических единиц, по рангу сопоставимых со сложными многометальными металлогеническими провинциями. Выделение таких самостоятельных провинций на прогнозных и металлогенических картах имеет важное практическое значение и необходимо для правильной оценки перспектив крупных регионов.

ГЛАВА 6

О МЕТАЛЛОГЕНИИ ДНА МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Последнее десятилетие ознаменовано повышенным интересом к вопросам поисков и разработки полезных ископаемых на дне морей и океанов, особенно в шельфовых зонах. Достигнуты

большие практические успехи при поисках, разведке и добыче нефти и газа, но в отношении рудных месторождений успехи значительно более скромны. В то же время данные последних лет уже позволяют считать, что не только континенты будут служить источником рудного сырья. Вопрос о прогнозе и поисках рудных месторождений на дне морей и океанов ставится на повестку дня всем ходом развития современной промышленности и техники и прежде всего резким повышением потребления рудных полезных ископаемых. Для отдельных стран, например Японии, этот вопрос приобретает особое значение и уже находится в стадии реального воплощения; для многих других стран — это вопрос недалекого будущего.

В самом деле, поверхность Мирового океана составляет 360 млн. км^2, или 71% всей поверхности нашей планеты; около 7% этой площади падает на континентальный шельф, глубина которого колеблется от 0 до 200 м; именно здесь в первую очередь возможно выявление новых рудных месторождений. В праве ли человечество в настоящее время пренебрегать рудными полезными ископаемыми, скрытыми водными просторами? Или следует готовиться к решению сложной проблемы их освоения? Если последнее справедливо, то задачи научно обоснованного прогноза рудных месторождений любых типов на дне морей и океанов должны привлечь внимание специалистов в области металлогении, обязанных своевременно разработать подлинно научные основы металлогенического анализа огромных территорий континентального шельфа и ложа (дна) морей и океанов.

В настоящее время геологические исследования широким фронтом охватили акватории морей и океанов. Получен большой материал по рудоносности прежде всего дна океанических впадин, где установлены значительные (если не коллосальные!) скопления железо-марганцевых конкреций. Остро встает вопрос о их промышленной эксплуатации. В ряде районов мира на дне морей и океанов в зонах молодых рифтов выявлены рудоносные рассолы (Красное море, Калифорнийский залив). Это свидетельствует о развитии рудных процессов разных типов на дне морей и океанов и необходимости детального изучения этих явлений. Зарождается новое направление металлогенических исследований — металлогения морей и океанов, предметом которых является изучение особенностей проявления в пространстве и во времени рудных концентраций в пределах крупных акваторий Земли.

Некоторыми исследователями ставится вопрос о необходимости создания общей теории океанического минерагенеза, на основе которой можно будет перейти к предварительному металлогеническому районированию океанического дна и конкретному прогнозу на определенные группы морских полезных ископаемых [404]. По-видимому, в настоящее время действительно следует говорить не столько о металлогении дна морей

и океанов, как об установленных закономерностях размещения рудных месторождений в пространстве и во времени, сколько о типах рудных месторождений и их принадлежности к главным элементам океанического дна [404].

Характеризуя металлогенические особенности океанов, В. И. Смирнов [351] отметил, что среди главнейших тектонических элементов Мирового океана — океанических плит, срединно-океанических мобильных зон, трансформных разломов и островных дуг только последние отличаются наличием эндогенных месторождений. В. И. Смирнов предполагает, принимая во внимание особенности магматической геологии дна океанов, что эндогенная металлогения в его пределах может проявиться в форме магматических месторождений хромитовых и титаномагнетитовых руд, а также других месторождений, ассоциирующихся с магматическими породами базальтоидного ряда.

Остановимся на краткой характеристике так называемых морских полезных ископаемых, в данном случае только рудных месторождений. Как справедливо указывает М. И. Конычев [174], морские месторождения могут быть разделены на две большие принципиально различные группы: а) месторождения, аналогичные известным на суше, и б) месторождения, образованные в морской среде.

Среди месторождений первой группы по основным особенностям геологического положения, в свою очередь, можно выделить рудные месторождения, которые могут быть выявлены в шельфовых зонах и на материковом склоне и аналоги которых известны на континентах, и рудные месторождения, открытие которых возможно в глубинных частях океана в связи с обнажающимися там породами базальтового слоя (хром, никель, кобальт и др.).

Изучение рудных месторождений в шельфовых зонах только начинается. В настоящее время в мире известно всего несколько рудных месторождений, разработка которых ведется под дном морей на участках шельфа, непосредственно примыкающих к суше. Это прежде всего железорудные месторождения Японии (о-в Кюсю), Австралии, Финляндии, а также Канады (в районе о-ва Ньюфаундленд). По существу это месторождения, переходящие с суши под дно морей. Подобные месторождения никеля известны в Канаде (Гудзонов залив), а ртути в Турции на побережье Эгейского моря [66]. В Великобритании некоторые оловоносные жилы Корнуолла прослеживаются под морское дно; их разработка велась в XVIII веке. Известно, что одна подземная шахта, находившаяся за пределами береговой линии, разрабатывалась до тех пор, пока случайно какой-то корабль не натолкнулся на устье шахты и не затопил ее в 1798 г.

В Соединенных Штатах Америки на Аляске в настоящее время производится разработка открытым способом морского

месторождения барита. Оно представлено крупными метасоматическими залежами барита в известняках, слагающих дно моря вокруг о-ва Кастл, на котором и были открыты первые баритовые залежи. Разработка рудных, особенно жильных, месторождений, не связанных непосредственно с берегом, представляет большие технические трудности.

Большую самостоятельную группу морских месторождений составляют рудные месторождения, образованные в морской среде. К ним в первую очередь относятся россыпи различных металлов. Именно эта группа месторождений составляет в настоящее время основную часть рудных морских месторождений, имеющих важное экономическое значение. Известны морские россыпи титана (ильменита и ртути), циркона и монацита, магнетита и титаномагнетита.

Иногда к морским россыпям ошибочно относят аллювиальные, речные россыпи золота, платины, касситерита и вольфрамита, затопленные морем. Их отнесение к собственно морским месторождениям по генетическим особенностям неправомерно. Такие россыпи золота известны, например, на Аляске, где поисковые работы ведутся на удалении до 6 км от берега. В США практически вся добыча платины приходится на долю подводной добычи с небольших глубин в заливе Гудьюс, где древняя русловая россыпь была затоплена морем и покрыта наносами (до 15 м). Большие работы по добыче касситерита из россыпей, погребенных под уровнем моря, производятся в Индонезии и Таиланде. В Таиланде древние долины протягиваются в море до 9 км и прослеживаются на глубине до 40 м. Крупные драги работают на таких россыпях на расстоянии 2—8 км от берега. Подобные месторождения в сумме имеют очень крупные запасы: например, в Таиланде запасы олова достигают 100 тыс. т.

Собственно морские россыпи известны в Японии, где ведется интенсивная разработка магнетитовых песков на дне Токийского залива; в 1961—1965 гг. здесь было добыто 7 млн. т песка. Всего в Японии добывается около 1,5 млн. т железных песков в год, при общей годовой добыче железной руды в стране 2,4 млн. т. Весьма крупные разработки титано-циркониевых пляжевых и морских россыпей проводятся в настоящее время в Западной Австралии, Бразилии, Индии, США (шт. Флорида) и Шри-Ланка.

Все россыпные месторождения на шельфе генетически связаны с коренными источниками, расположенными на суше, являются результатом разрушения последних и возникают в благоприятных для аккумуляции рудных минералов условиях — в пляжевых россыпях или в погребенных русловых россыпях, иногда перекрытых затем осадками моря. Прогноз и изучение россыпей (месторождений) подобного типа неразрывно связаны с изучением металлогении береговых зон, выявлением наи-

более благоприятных участков сноса рудных минералов и геоморфологических и гидрологических условий их концентрации. Изучение металлогении шельфовых зон прежде всего должно быть основано на применении метода аналогий и увязки имеющихся данных по геологии дна тех или иных акваторий с геологией и металлогенией прилегающего побережья.

В настоящее время методика геологической съемки шельфовых зон, являющейся всегда первоосновой металлогенического анализа, еще не разработана. Геологическое картирование коренных пород шельфа ведется экспериментально и в ограниченных масштабах, поэтому говорить сейчас о возможности достоверного металлогенического анализа шельфовых зон с целью выявления перспективных участков для открытия коренных рудных месторождений не приходится; это не является актуальной проблемой изучения металлогении шельфа сегодня. В то же время открытие в области шельфа в нашей стране погребенных россыпных месторождений золота, касситерита, вольфрамита и других полезных ископаемых, с учетом всего комплекса данных по геологии, геоморфологии и металлогении побережья,— одна из задач морской геологии.

Совершенно особый тип рудных месторождений, выявленных в последние годы, представляют собой железо-марганцевые конкреции, распространенные на значительных площадях в глубинных зонах большинства океанов. Характерная особенность этих образований (конкреций) — их полиметальный состав: кроме марганца (до 50%) в них присутствуют кобальт (до 2%), медь (до 1,9%), никель, ванадий, торий, цинк и цирконий. В настоящее время наибольшие запасы таких конкреций находятся на западном побережье США, где на глубинах 1500—3000 м они покрывают площадь около 5 млн. км^2. По предварительным оценкам общие запасы указанных металлов составляют (в т): марганца $7{,}1 \cdot 10^{10}$, никеля $2{,}3 \cdot 10^9$, кобальта $1{,}0 \cdot 10^9$, меди $1{,}5 \cdot 10^9$.

Наиболее широко железо-марганцевые конкреции развиты в Тихом океане, где выделяется семь самостоятельных рудных районов, характеризующихся наибольшей их концентрацией [19]. Кроме железо-марганцевых конкреций, выстилающих дно океанов, в последнее время марганцевые и железо-марганцевые руды обнаружены среди донных терригенных, пелитовых и пирокластических океанических осадков. К таким месторождениям относятся выявленные недавно рудные образования в районе Гавайских островов на глубинах от 1200 до 2400 м; они представлены протяженным марганценосным корково-конкреционным горизонтом, залегающим среди песчаников и туфоалевролитов. Природа указанных железо-марганцевых образований еще недостаточно ясна. В некоторых случаях намечается их приуроченность к зонам глубинных разломов. Это устанавливается для образований района Гавайских островов и неко-

торых залежей марганцевых конкреций в центральных районах Тихого океана. Некоторая часть конкреций и прежде всего поле конкреций у юго-восточного побережья Японии, которые выстилают дно подводных банок на глубине 100—400 м, по-видимому, связаны с подводными горячими источниками или вулканическими извержениями.

Другим новым типом морских рудных месторождений являются выявленные в последние годы в Красном море металлоносные горячие рассолы и рудные илы. Они были открыты в 1964—1966 гг. в депрессиях рифтовой зоны Красного моря исследовательскими судами США, ФРГ и Великобритании, хотя первые сведения о горячих насыщенных металлами водах были получены шведской экспедицией еще в 1948 г. Обезвоженные металлоносные илы содержат 4,6% цинка, 1,8% меди, 0,14% олова и 0,006% серебра.

Мощность таких илов около 100 м, а площадь наиболее крупной впадины Атлантик II достигает 12×5 км. Вода Красного моря над металлоносными илами содержит железо, марганец, цинк, свинец, медь, золото и серебро в концентрациях от 1000 до 50 000 раз выше концентраций, обнаруженных в обычной морской воде, и имеет температуру выше 40° С. Предполагается, что рудные илы и рассолы сформировались в рифтовых депрессиях Красного моря в результате смешения рудоносных гидротерм, попадающих по зонам разлома в придонную часть моря, с кислородсодержащими и слабощелочными водами впадин.

Допускается, что подобные рудные образования могут быть встречены в Аденском заливе, Калифорнийском троге и рифтовых зонах Восточно-Тихоокеанского поднятия. Об этом, в частности, свидетельствуют последние данные о характере воды в Тихом океане между 12—16° южной широты, где в рифтовых впадинах дна океана обнаружены более соленые, с повышенной на несколько градусов температурой, воды, содержащие железо, марганец, медь, хром, никель и свинец, которыми обогащены осадки.

В последние годы широко проводились исследования по изучению рудных конкреций на дне Тихого и Атлантического океанов; выявлены новые крупные поля их развития; обсуждаются вопросы их практического использования. В Северной Атлантике в центральных частях железо-марганцевых конкреций установлены серпентинит и гидротермальные глинистые минералы, что, по мнению их исследований, служит доказательством проявления марганцевой минерализации в результате гидротермальной деятельности в связи с вулканизмом.

Наиболее богатые металлами конкреции установлены на площади между Гавайскими островами и Панамой. Здесь выделены крупные площади, для которых средние минимальные содержания составляют 1,25% Ni, 1,1% Cu, 0,25% Co, 25% и более

Мп. При этом наибольший практический интерес представляет никель.

Шире изучались рудоносные илы и не только в Красном море. Так, в Северном море Атлантики фирмы ФРГ организовали пробную добычу красного ила как сырья для алюминия. В Красном море установлено наличие металлоносных сланцев с ванадием и молибденом.

В рифтовых долинах Восточно-Тихоокеанского поднятия обнаружены осадки, обогащенные медью, хромом, никелем и свинцом. Промышленное месторождение медьсодержащих илов обнаружено на шельфе Чили, причем содержание во многих пробах составляет 0,3—1,3%.

Таким образом, в настоящее время можно говорить о достаточно пестром комплексе рудных полезных ископаемых, приуроченных к дну морей и океанов. Изучение этих месторождений только начинается, но уже все больше и больше стран и горнорудных компаний принимают участие в их исследованиях и решении сложных технических и экономических проблем, связанных с их освоением.

В условиях быстрого роста общего потребления и производства полезных ископаемых во всех экономически развитых странах вопрос освоения морских рудных месторождений как в пределах шельфовых зон, так и во внутренних морях и глубоких частях океанов настойчиво ставится всем объективным ходом развития науки и техники. Сейчас уже нельзя игнорировать при оценке минеральных ресурсов огромные пространства Мирового океана, нельзя не видеть возможности выявления морских месторождений, не вовлекать постепенно в сферу металлогенического анализа наиболее доступные для освоения шельфовые зоны, а затем и донные части океанических впадин.

Постепенно зарождается новая ветвь металлогении — металлогения (минерагения) морей и океанов. Как и на континентах, здесь отчетливо выделяются два направления: металлогения эндогенных и экзогенных месторождений. С последним связаны вопросы формирования различных россыпей (собственно морских и погребенных под морскими отложениями), а также вопросы образования месторождений в результате перемещения рудных элементов с суши в морские бассейны в результате разрушения коренных пород островов и континентов.

Определенная часть морских рудных месторождений, по-видимому, имеет осадочно-гидротермальный генезис, когда рудные элементы привносятся в водную среду по разломам из глубинных зон Земли. Это в последнее время подтверждают К. Бостром и М. Петерсон [485] для полиметальных железомарганцевых конкреций и повышенных концентраций свинца в районах Тихого океана.

Изучение металлогении дна морей и океанов имеет важное значение и для познания металлогении континентов. Так, напри-

мер, применяя метод актуализма, можно предполагать, что в узких рифтовых долинах прошлых геологических периодов возможно выявление свинцово-цинковых месторождений осадочно-гидротермального генезиса. Поэтому изучение древних рифтовых зон, в особенности со сланцевыми толщами, приобретает важное практическое значение. В настоящее время допускается, что позднепротерозойские свинцово-цинково-медные месторождения района Маунт-Айзы (Австралия), локализующиеся в углистых сланцах и имеющие осадочно-гидротермальный генезис, образовались в условиях, близких к обстановке возникновения рудных илов Красного моря. Или другой пример, который связан с интересным исследованием И. Ю. Лубченко [216], изучавшей геохимию свинца в современных водоемах. Она убедительно доказала, что в воды океанов свинец привносится по зонам разломов гидротермами или эксгаляциями, идущими из глубин Земли. На концентрировании свинца в водоемах, как подчеркивает И. Ю. Лубченко, не отражаются ни общая соленость воды, ни гидрохимический тип ее.

Итак, изучение закономерностей размещения морских месторождений рудных полезных ископаемых делает первые шаги. Для рудных месторождений новых типов (пластовых залежей конкреций, рудных илов и рассолов) уже сейчас намечается очень важная закономерность — приуроченность этих месторождений в региональном плане к крупным зонам разломов, по-видимому выводящих рудоносные растворы из глубоких недр Земли в водную среду Мирового океана; при этом большое значение для локализации оруденения приобретают рифтовые структуры. В абиссальных частях океанов, где, возможно, обнажаются породы базальтового слоя, могут быть встречены месторождения хрома, платины, никеля. В этом случае их размещение в региональном плане во многом будет определяться крупными нарушениями, вдоль которых происходило перемещение блоков «базальтового» или мантийного субстрата. Иными словами, для локализации собственно морских месторождений, особенно новых типов, большое значение в региональном плане приобретают разрывные нарушения и блоковая тектоника. В этом состоит одна из важных общих закономерностей размещения рудных месторождений океанического дна.

ГЛАВА 7

НОВАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТОНИКА И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Последние годы свидетельствуют о том, что страсть к моде (видимо, она присуща не только женщинам) овладела многими исследователями. Примером служат многочисленные попытки без должного глубокого анализа фактического материала при-

менить представления так называемой новой глобальной тектоники, или тектоники плит, к выявлению закономерностей размещения рудных месторождений.

Эта концепция представляет собой возрождение идей мобилизма на основе новых фактических материалов, полученных в последнее десятилетие главным образом за рубежом в результате океанических исследований. Общие проблемы глобальной тектоники достаточно полно освещены в отечественной литературе [27, 28, 72, 154, 155, 265, 184, 185, 414, 416, 420 и др.]. Тем не менее остановимся кратко на главных положениях этого нового направления теоретической геотектоники, чтобы яснее представить возможность их применения к металлогеническому анализу конкретных регионов, к познанию закономерностей проявления рудных месторождений в земной коре.

Главные идеи новой глобальной тектоники, или тектоники плит, основаны на принципиально новых геофизических и в меньшей степени геологических данных. Полученные благодаря внедрению в геологию передовых достижений науки и техники они по существу отражают влияние современной научно-технической революции на развитие геологической мысли.

В. Е. Хаин [414, 416, 420] обобщил главные новые идеи и факты, послужившие основой современной концепции мобилизма. Основу современных идей мобилизма, воплощенных в гипотезе тектоники плит, составляют представления о том, что земная кора и, по-видимому, частично верхние слои мантии, составляющие жесткую литосферу, раздроблены на ряд (6—8) крупных и несколько более мелких жестких плит, разделенных подвижными поясами, которые совпадают с выявленными в последние годы рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов или с трансформными разломами. Трансформные разломы, или разломы с крупными горизонтальными смещениями, наиболее характерны для рифтовых систем океанов, они пересекают срединные хребты и прилегающие к ним участки земной коры.

Предполагается, что крупные инертные плиты литосферы перемещаются одна относительно другой по подстилающей их пластичной астеносфере. Возможны различные случаи перемещения плит: их раздвижение с образованием рифтовых зон, надвиги, поддвиги и т. д. Наиболее крупные плиты литосферы, их положение и границы фиксируются линиями эпицентров землетрясений.

Одним из важнейших моментов новой глобальной тектоники являются представления о расширении дна океанов, которое происходит симметрично в обе стороны от рифтовых зон срединно-океанических хребтов, где под воздействием поднимающихся и расходящихся струй подкоровых течений возникает и разрастается океаническая кора.

Допускается, что океанические рифтовые зоны располагаются над восходящими ветвями подкоровых течений, а глубоко-

водные желоба — над нисходящими. При этом расширение рифтовых зон с увеличением и новообразованием океанической коры компенсируется сжатием в районах глубоководных желобов, захватывающих и края континентов, которые рассматриваются как зоны поглощения океанической коры или ее погружения под континентальную кору вдоль наклонных поверхностей глубокофокусных землетрясений. В рифтовых зонах происходит подъем материала из астеносферы с образованием базальтов, их многократное излияние на фоне общего расширения океанического дна и образования коры океанического типа.

Основные положения новой глобальной тектоники в ряде случаев аргументируются геофизическими и геологическими данными [414, 416, 420], причем геофизические данные играют ведущую роль. В частности, важнейший вывод о расширении океана и рифтовых зон основан главным образом на палеомагнитных реконструкциях и изучении современных линейных магнитных аномалий в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов.

Здесь следует отметить, что по данным некоторых исследований между земной корой материков и океанов во многих случаях нет принципиальной качественной разницы. Количественные же различия выражены, как правило, достаточно отчетливо. Ф. С. Моисеенко [253] считает, что материалы ГСЗ, приведенные к унифицированной скоростной модели земной коры, в новом свете ставят многие геологические проблемы, в частности проблему океанизации и базификации коры, причем в ряде случаев океанизация может быть истолкована как погружение континентальной коры без ее базификации. Такой подход к интерпретации геофизических данных безусловно ставит новые вопросы на пути гипотезы тектоники плит или во всяком случае позволяет допускать в ряде случаев взаимопереходы и взаимосвязь между корой континентального и океанического типов, а не рассматривать их как изначально полярно противоположные субстанции. Ф. С. Моисеенко подчеркивает, что нижний слой океанической коры по величинам скоростей в одних местах соответствует разновидностям диоритового слоя, а в других — базальтового, а иногда даже гранитному слою материковой коры. Он отмечает, что среди разрезов океанической земной коры можно найти в миниатюре аналоги практически всех типов разрезов континентальной коры, за исключением тех, в которых хорошо развит собственно гранитный слой, часто заменяющийся в океанических разрезах вулканогенно-осадочным слоем. Это обстоятельство еще раз подчеркивает намечающуюся определенную общую направленность в развитии континентальной и океанической коры, что невозможно представить исходя из идей тектоники плит. Указанные соображения имеют важное значение для создания моделей заложения геосинклинальных прогибов на земной коре разного типа.

Гипотеза новой глобальной тектоники привлекла большое внимание геологов всех стран; обсуждению тектонических и металлогенических аспектов этой проблемы были посвящены многие доклады на XXIII сессии Международного геологического конгресса в Канаде (1972 г.).

Безусловно, основные положения этой гипотезы заслуживают самого пристального внимания и дальнейшей разработки. И в этом плане нельзя не отметить, что идеи неомобилизма развивались в нашей стране независимо от зарубежных исследований еще задолго до их оформления в самостоятельную концепцию «тектоники плит». Об этом свидетельствуют хорошо известные работы А. В. Пейве [290, 277], М. Н. Кропоткина [184], П. С. Воронова [58], В. Е. Хаина [414] и др.

Применение общих положений новой глобальной тектоники к теории геосинклиналей [116, 346, 414] может объяснить с позиций неомобилизма многие особенности геосинклинального процесса. Так, например, можно допустить, что геосинклинали образуются в результате растяжения континентальной коры с возникновением коры океанического типа, когда возникают крупные и протяженные офиолитовые пояса. Далее развитие геосинклиналей идет на фоне взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов растяжения — сжатия; здесь предполагается возникновение зон Беньофа с проявлением андезитового магматизма в районах островных дуг. Размыв последних ведет к образованию флишоидных формаций. Последующее развитие геосинклиналей происходит в условиях сжатия при проявлении складчатости и широкого развития разрывных нарушений и блоковых перемещений с возникновением горных сооружений и характерных молассоидных формаций.

Так представляется общая схема развития геосинклиналей с позиций новой глобальной тектоники. Она может восприниматься как один из возможных вариантов трактовки новых представлений теоретической геотектоники применительно к развитию крупнейших структур континентального блока земной коры — геосинклинально-складчатым областям. Однако совершенно очевидно, что новая гипотеза тектоники плит пытается объяснить только глобальные тектонические процессы, происходящие в земной коре и в глубоких недрах нашей планеты. На основе очень интересных и новых данных она предлагает один из возможных вариантов для объяснения самых общих процессов эволюции верхних оболочек нашей планеты, протекающих в настоящее время и существовавших в относительно недалеком геологическом прошлом. Все, что касается приложения данной гипотезы к далеким геологическим периодам, еще нуждается в очень осторожном осмысливании и всесторонней разработке. Поэтому новая глобальная тектоника как новая гипотеза теоретической геотектоники, знаменуя своим появлением важный этап в развитии геологической мысли, должна

рассматриваться в настоящее время только как первая общая схема планетарной тектоники, а не как разработанная уже в деталях новая геологическая теория, способная объяснить природу всех геологических явлений, в том числе и закономерности размещения полезных ископаемых.

К сожалению, в последнее время некоторые исследователи считают, что идеи новой глобальной тектоники должны служить основой для решения всех актуальных задач прикладной металлогении и разработки новых критериев прогноза [387, с. 19]. По мнению А. А. Ковалева, «советские геологи еще мало используют мобилистские геотектонические концепции для переинтерпретации строения и эволюции отдельных регионов и металлогенического анализа»... [156, с. 7]. Он вводит в обиход термин «мобилистская металлогения», который, как он считает, определяет бурно (?) развивающееся научное направление [155].

Некоторые исследователи полагают: «новая глобальная тектоника, понимаемая как тектоника парагенезов фиксированных уровней организации вещества, учитывающая пространственную (латеральную и вертикальную) нестабильность, временную эволюционную неоднородность Земли, сфер, оболочек, комплексов, открывает большие возможности для сопоставлений по гомологии, корректной экстраполяции и интерполяции, познания статистически выдержанных объективных закономерностей размещения месторождений, количественного прогнозирования» [203, с. 50]. Мы не комментируем данную цитату, рассчитывая, что читатель сам оценит такое понимание значения новых планетарных геотектонических идей для металлогении.

Вопросам применения представлений новой глобальной тектоники к проблемам металлогении были посвящены специальные совещания в Ленинграде в декабре 1973 г. [238] и Москве в 1976 г. [75].

Как же в настоящее время обстоит вопрос с применением идей гипотезы «тектоники плит» к выявлению новых закономерностей размещения рудных месторождений? Что сделано в этом направлении? И можно ли считать, что на современном этапе разработки новых глобальных тектонических представлений они могут уже служить фундаментом для конкретных прогнозов, способны действительно обеспечить реальный скачок в металлогенических исследованиях конкретных рудных провинций, зон и районов, заменить старые металлогенические концепции новыми и решать вопросы практической металлогении?

Анализ отечественных и зарубежных публикаций по вопросам металлогении применительно к идеям новой глобальной тектоники позволил выделить две особенности. Во-первых, в работах рассматриваются только планетарные закономерности локализации рудных месторождений в масштабах рудных провинций или, как правило, даже целых континентов. Иными сло-

вами, в работах обсуждаются вопросы глобальной металлогении, делается попытка объяснить с позиций новой глобальной тектоники особенности размещения рудных месторождений в планетарном масштабе. Это особенно характерно для работ зарубежных исследователей [494, 495, 496, 530, 537, 544, 545]; в отечественной литературе сходные сопоставления приводятся в работах А. А. Ковалева [154, 155, 156] и ряда других исследователей [238]. И только в некоторых тезисах докладов ленинградского совещания по проблемам глобальной тектоники декларируется возможность применения идей новой концепции к решению практических вопросов металлогении в масштабах рудных поясов, зон и районов [238].

Во-вторых, во всех работах обсуждаются с позиций новой глобальной тектоники уже выявленные закономерности и практически не вскрыто ни одной новой объективно существующей закономерности в размещении рудных месторождений как в глобальном масштабе, так и в масштабе конкретных регионов. По-видимому, такие особенности не случайны, они отражают определенную стадию в развитии «мобилистской металлогении».

В работах А. А. Ковалева [154, 155, 156] отмечается, что при перемещении тектоносферных плит возникают подвижные зоны семи наиболее распространенных (?! — *А. Щ.*) типов, каждая из которых характеризуется определенными полезными ископаемыми. Характер этих закономерностей приведен в табл. 13, которая, по нашему мнению, отражает не столько новые закономерности в размещении месторождений в земной коре, сколько их географию размещения по отношению к крупным элементам современного рельефа Земли. Однако А. А. Ковалев [154] полагает, что указанные в таблице закономерности представляют наибольший интерес для практического анализа.

В более поздней работе этот исследователь [158] на примере Зайсанской складчатой системы, исходя из изложенных выше представлений, высказал соображения, что известные рудные пояса Рудного Алтая сформировались в процессе сближения (сдвигания) Казахстанской и Сибирской плит.

В работах других советских исследователей, пожалуй наиболее полно в настоящее время отраженных в тезисах ленинградского совещания, сделаны в различной степени удачные попытки объяснить установленные ранее главным образом глобальные закономерности размещения рудных месторождений на основе новых идей. К сожалению, многие исследователи дают только новые толкования уже известным явлениям, без малейших попыток на основе последних представлений выявить новые закономерности. Многие из них формально, отдавая дань модному научному направлению, пытаются увязать различные вопросы региональной и локальной геологии и металлогении с проблемой глобальной тектоники [238].

За рубежом, так же как и в Советском Союзе, в последние годы произошел своеобразный «публицистический взрыв» в области применения идей гипотезы «тектоники плит» к металлогеническим построениям. Многочисленные статьи на эту тему различных авторов появились во многих геологических изданиях; их поток практически не уменьшается и сейчас. Предлагаются различные модели использования концепции глобальной тектоники к объяснению причин закономерного размещения

ТАБЛИЦА 13

Некоторые закономерности размещения рудных формаций в подвижных зонах с позиций концепции тектоники плит. По А. А. Ковалеву [154]

Подвижные зоны и подзоны	Характерные рудные формации	Примеры кайнозойских месторождений
Активная окраина континента:		
а) склон активной окраины и глыбовое нагорье	Порфировая медно-молибденовая, медистые песчаники, олово-серебряные, олово-вольфрамовые	Месторождения Аризоны, Чили, Перу, Болео (Калифорния); Коро-Коро, Потоси, Льяльягуа (Боливия)
б) переходная к глыбовому нагорью, межгорный прогиб	Урано-ванадиевые и урановые гидротермальные и инфильтрационные месторождения в неметаморфизованных проницаемых отложениях	Месторождения плато Колорадо
Островные дуги	Магматические хромитовые и медно-никелевые месторождения. Вулканогенно-гидротермальные колчеданные (массивные железоколчеданные, медные полиметаллические), золоторудные	Масиилок и др. (Филиппины). Месторождения Японии, столбообразные залежи Матамбре и Эль-Кобра (Куба)
Области смыкания континентов (межгорные прогибы орогенов)	Гидротермальные полиметаллические и другие месторождения в неметаморфизованных проницаемых терригенных красноцветных отложениях	Современные термы, формирующие полиметаллическое оруденение на о-ве Челекен
Рифтовые зоны на континентах	Гидротермально-осадочные окисные и карбонатные марганцевые, лептохлорит-шамозитовые, гематитовые (железорудные), медно-полиметаллические	Горячая рапа и отложения железа, марганца и полиметаллов во впадинах Красного моря (Атлантик II)

месторождений в земной коре. Однако все построения (автор не боится употребить слово все) несут отпечаток умозрительного, крайне субъективного, а иногда и упрощенного толкования причин возникновения месторождений и их размещения в пространстве. В особенности это относится к зарубежным авторам, многие из которых весьма произвольно и легко решают сложные вопросы связи оруденения с различными геологическими процессами. Сказанное во многом относится и к советским исследователям [75, 292].

Опыт применения идей «тектоники плит» для целей выявления закономерностей размещения месторождений в определенной степени отражен в тезисах докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию «Применение геодинамических моделей при изучении глубинного геологического строения рудных и нефтегазоносных провинций и выявлении новых закономерностей размещения полезных ископаемых» [79], состоявшегося в конце 1976 г. в Москве. Представленные достаточно многочисленные тезисы отражают попытку тех или иных исследователей показать место различного оруденения по отношению к горизонтальным тектоническим движениям и структурным элементам, выявляемым при палеотектонических реконструкциях с позиций мобилизма. В тезисах рассматриваются главным образом планетарные закономерности размещения месторождений и в основном декларируются выявление новых закономерностей и возможность применения «мобилистского металлогенического анализа» [75, с. 19] для целей прогноза. Так или иначе, но указанное совещание отразило представления некоторых советских исследователей по вопросу использования современного мобилизма в металлогенических исследованиях, показав главным образом планетарный характер таких построений.

Проблемы металлогении и новой глобальной тектоники достаточно широко обсуждались на Международном геологическом конгрессе в Австралии [157, 551]. В большинстве докладов отмечалась возможная связь минерализации с окраинами континентальных плит и процессами поддвижения под них океанической коры. Значительное место в докладах было отведено положению меднопорфировых месторождений в структурах окраин континентальных плит. Доклады были интересны общей постановкой вопроса, но, как правило, отличались крайним субъективизмом и глобальным подходом к решению вопросов металлогении. По нашему мнению, многие доклады не были аргументированы должным фактическим материалом, который позволял бы принимать однозначные решения. В особенности это относится к регионам, которые известны автору по личным исследованиям. Так, например, Р. Силлитое [544] произвел с позиций глобальной тектоники металлогенический анализ территории Пакистана, объясняя всю металлогеническую специфику этого региона процессами субдукции и возникновением

трансформных разломов. Наши исследования в этом регионе не позволяют согласиться с такой трактовкой металлогенических особенностей этого региона, в особенности, когда это необходимо для целей прогноза [541]. Последнее обстоятельство особенно важно, так как практически все металлогенические построения на основе идей «тектоники плит» лишены конкретного анализа реальных геологических обстановок проявления месторождений, подменяя их общими построениями (ситуациями), возможными в случае интерпретации геологического строения регионов с позиций глобальной тектоники.

В 1976 г. Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин и В. М. Моралев [118] опубликовали монографию, посвященную проблемам глобальной тектоники. Они выделяют семь характерных геодинамических обстановок, в которых возникают эндогенные месторождения, рудные районы и зоны. Эти «обстановки» представляют собой по существу семь вариантов соотношений крупных тектонических плит. Положение последних, обусловливающее появление определенных групп месторождений, отражено на рис. 21.

Недавно К. Л. Волочкович [70] на примере Центрально-Азиатского пояса рассмотрел возможности применения идей новой глобальной тектоники к металлогеническому анализу и достаточно убедительно показал, что в настоящее время при металлогенических исследованиях среднего и мелкого масштабов более полезной оказывается классическая концепция геосинклинального развития, а не представления тектоники плит. Им подвергнута критике работа Л. П. Зоненшайна и др. [118] и на ряде примеров отмечено несоответствие фактическому материалу представлений этих авторов о характере региональной зональности оруденения и, в частности, об отсутствии зависимости между региональной зональностью и особенностями геологического строения регионов. К. Л. Волочкович [70] подчеркнул, что идеи новой глобальной тектоники не учитывают при металлогеническом анализе геосинклинально-складчатых областей стадийность их развития и металлогеническую специфику тектонических структур разных типов, которые возникают в процессе эволюции геосинклиналей в пространстве и во времени.

Рассматривая вопросы эндогенного образования в связи с тектоникой плит, В. И. Смирнов [352, с. 25] справедливо отмечает: «Рассуждения о том, что все разнообразие магматических пород и эндогенных рудных месторождений возможно объяснить исключительно по способу заталкивания океанических плит под континенты, относятся к категории фантастических. Они не должны уводить нас в сторону от анализа реальных геолого-исторических условий развития как магматизма, так и металлогении».

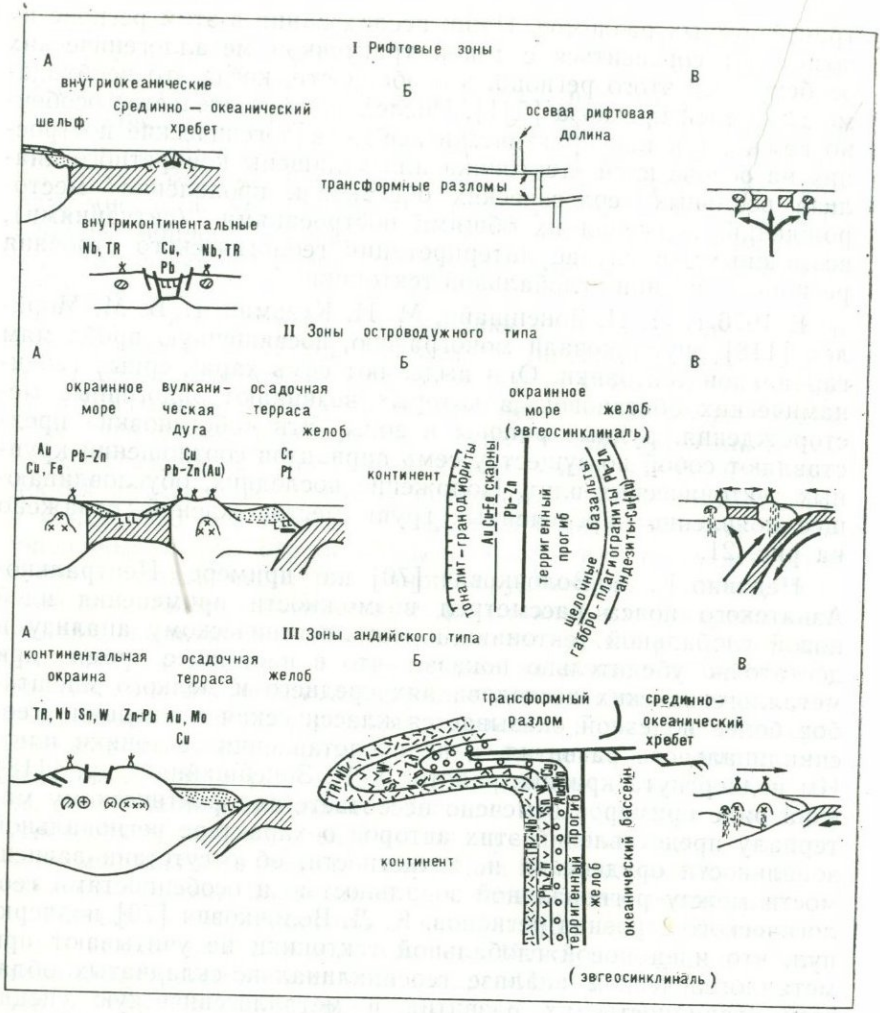
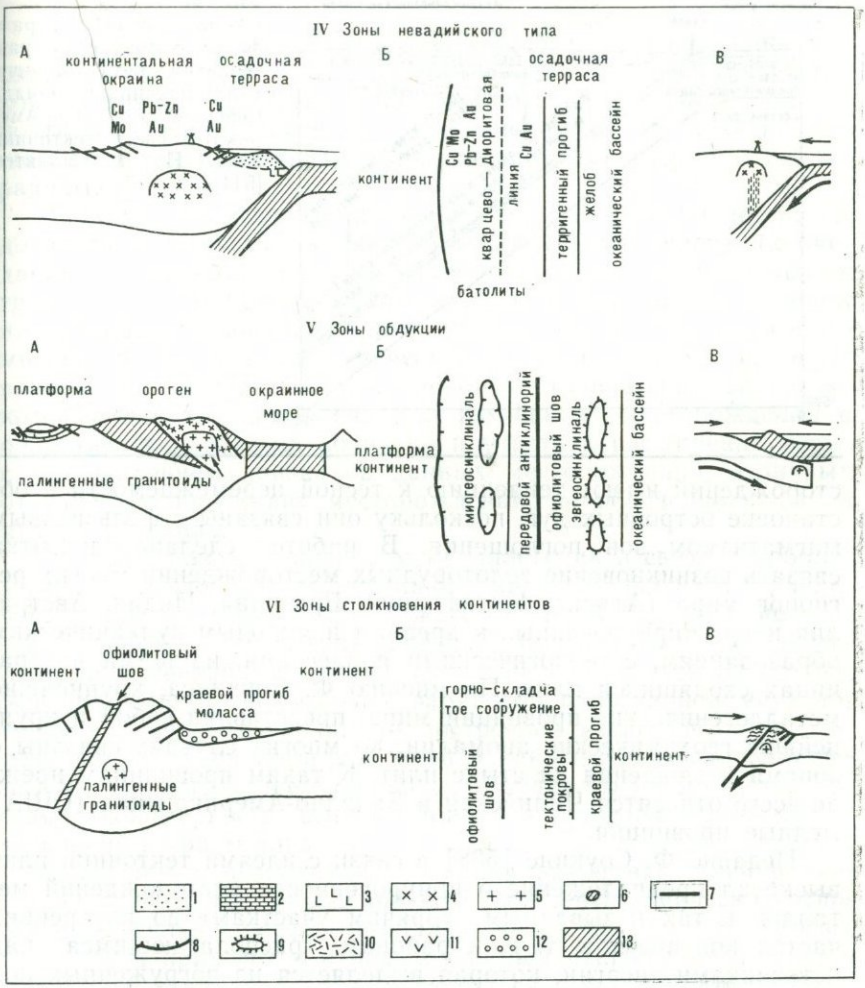


РИС. 21.

Основные геодинамические обстановки [118].

1 — терригенные отложения, преимущественно турбидиты; *2* — мелководные шельфовые отложения; *3* — базальты; *4* — гранитоиды преимущественно мантийные и нижнекоро-

За рубежом в настоящее время опубликованы обстоятельные работы по вопросам металлогении в связи с проблемой «тектоники плит». Их обзор дан А. А. Ковалевым [155], и нет необходимости повторять их главные положения. Среди них выделяется работа Ф. Соукинса [537], рассматривающего положение сульфидных рудных месторождений в аспекте идей гло-



вые; *5* — гранитоиды преимущественно корового происхождения; *6* — щелочные интрузии; *7* — гипербазиты; *8* — офиолитовые покровы; *9* — гранито-гнейсовые купола; *10* — зона бимодального и щелочного магматизма; *11* — зона стандартных и литий-фтористых гранитов; *12* — зона гранит-гранодиоритовых базальтов и диорит-монцонитов; *13* — океаническая литосфера. А — разрез, Б — план, В — геодинамическая интерпретация

бальной тектоники. Ф. Соукинс выделяет сульфидные месторождения, приуроченные к краевым частям плит и сформировавшиеся внутри плит. По его мнению, краевые зоны сходящихся плит имеют первостепенное значение как генераторы сульфидного оруденения. Он рассматривает месторождения типа Куроко и Кордильерского типа и считает, что оба типа ме-

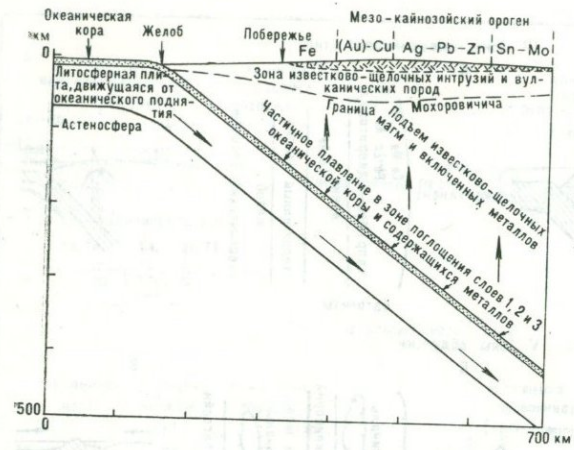


РИС. 22.
Схематическая диаграмма закономерности размещения металлогенических провинций запада Северной и Южной Америки в свете тектоники плит. По Р. Силлитое [544]

сторождений имеют тенденцию к тесной перемежаемости в обстановке островных дуг, поскольку они связаны с фельзитовым магматизмом зон поглощения. В работе сделана попытка связать возникновение золоторудных месторождений многих регионов мира (Аляска, Калифорния, Бразилия, Индия, Австралия и др.), приуроченных к древним и молодым вулканическим образованиям, с геологическими процессами, идущими на границах сходящихся плит. По мнению Ф. Соукинса, крупнейшие металлогенические провинции мира, представляя собой и крупнейшие геохимические аномалии, во многих случаях связаны с зонами поглощения на стыке плит. К таким провинциям прежде всего относятся Чилийская и Западно-Американская (США) медные провинции.

Недавно Ф. Соукинс [538] в связи с идеями тектоники плит высказал предположение о приуроченности месторождений металлов к так называемым «горячим участкам» во внутренних частях континентов, т. е. к районам, располагающимся над источниками энергии, которая выделяется из погруженных под континент пластин океанической коры.

Последнее положение развивает Р. Силлитое [544, 545], полагающий, что медные и молибденовые месторождения порфирового типа приурочены к орогеническим поясам, образующимся при поддвигании океанической плиты литосферы под смежную плиту. По его мнению, источником молибдена и меди служит кора океанического типа, преобразование которой в зонах поглощения ведет к формированию медно-молибденовых месторождений. Общая схема возникновения месторождений и металлогенических провинций, предлагаемая Р. Силлитое, дана на рис. 22. Как отмечает Р. Силлитое, его модель связи рудных месторождений с тектоникой плит имеет чисто теоретическое значение.

Вопросам металлогении и новой глобальной тектоники посвящены работы Ф. Гайлда [494, 495, 496], который делает такой общий вывод: руды концентрируются на границах плит и почти все металлогенические провинции находятся в надвигающихся плитах и вытянуты приблизительно параллельно их окраинам.

В одной из последних работ Ф. Гайлд [495] пытается доказать, что месторождения «массивных сульфидов» (колчеданные, полиметаллические) являются индикаторами бывших границ плит. Вопросы происхождения рудных месторождений на границах наращивания плит или их поглощения имеют, по мнению Ф. Гайлда, академическое значение, однако он видит важный практический аспект новой тектонической концепции, который связан с выявлением и изучением месторождений в областях океанических поднятий и участках расширения коры, с установлением признаков данных месторождений, отличных от сходных по составу месторождений, но образовавшихся в других условиях.

Таким образом, к вопросам металлогении в связи с проблемами новой глобальной тектоники, или тектоники плит, привлечено внимание многих исследователей и уже сделаны некоторые интересные обобщения. Все они, на наш взгляд, представляют фрагментарные модели (даже не общие схемы!), отражающие один из возможных вариантов планетарной металлогении и рудообразования; эти построения касаются только определенных типов месторождений и закономерностей размещения их в пространстве. Однако (как будто бы!) намечается общая закономерность, выражающаяся в приуроченности месторождений к краям плит.

Несомненно, познание планетарных закономерностей размещения рудных месторождений на новой геотектонической основе представляет интерес и должно продолжаться. Возможно, эта работа приведет и к новым важным открытиям. Однако в настоящее время нельзя не согласиться с Ф. Гайлдом [495] и Р. Силлитое [544], которые весьма осторожно подходят к решению вопросов металлогении в связи с гипотезой тектоники плит, подчеркивая академический, теоретический характер данных исследований.

Следует отметить, что в последние годы за рубежом ряд ведущих специалистов в области рудной геологии и металлогении [505, 523, 524] однозначно указывают на невозможность объяснить с позиций теории тектоники плит главнейшие закономерности размещения месторождений и рудных провинций. Они отмечают необходимость «натуралистического», реального подхода к металлогеническим исследованиям, большего внимания к проблемам эволюции оруденения и конкретному анализу геологических обстановок, в которых проявляются месторождения [502, 523].

В этом плане резко выделяются работы А. А. Ковалева [154, 155] и ряда других исследователей [238, 270], которые полагают, что идеи новой глобальной тектоники должны служить основой для металлогенического анализа, что они будут способствовать прогнозированию полезных ископаемых и позволят создать более совершенную, чем существующие, металлогеническую концепцию. Такая постановка вопроса, по нашему мнению, преждевременна, она лишена в настоящее время фактической основы (что в геологии является главным для обобщений) и не может не вызывать определенной тревоги за развитие прикладной, региональной металлогении. В геологии, как и в искусстве, необходимо чувство меры, оно во многом определяет успех работы.

Новая глобальная тектоника действительно по-новому решает очень важные вопросы строения и развития нашей планеты; это одна из немногих геологических гипотез, удачно объясняющих некоторые явления, происходящие в земной коре и мантии. Безусловно, в настоящее время нельзя игнорировать это развивающееся научное направление, а особенно тот фактический материал, который лежит в основе новых тектонических построений.

Однако мы считаем, что новая глобальная тектоника не может в настоящее время являться прочным фундаментом для создания принципиально новых основ регионального металлогенического анализа. Эта гипотеза слишком умозрительна и субъективна. В то же время ее появление знаменует очень важную веху в развитии металлогенических исследований, а именно создание нового направления — глобальной металлогении, задачи которого заключаются в установлении планетарных закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре и выяснении возможных причин их проявления. Развитие этого направления металлогении безусловно должно затем найти отражение и в региональной металлогении.

У нас в стране вопросы глобальной металлогении в аспекте «рудоконцентрирующих глобальных структур» развиваются И. Н. Томсоном и М. А. Фаворской [396, 403]. Под «рудоконцентрирующими структурами» эти исследователи понимают сквозные зоны длительно развивающихся нарушений, пересекающих границы океанов и континентов, которые определяют размещение наиболее крупных рудных месторождений. В пределах таких рудоносных линеаментов месторождения, по их мнению, располагаются в узлах пересечения разнонаправленных разломов или приурочены к купольным поднятиям. Это направление глобальной металлогении в некоторых вопросах «смыкается» с идеями концепции тектоники плит и развивается некоторыми исследователями за рубежом [504, 511, 513].

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ ТЕРРИТОРИИ СССР

На территории Советского Союза развиты все основные тектонические элементы, выделяемые в настоящее время в пределах материковой части земной коры. К ним относятся древние платформы и их щиты, разновозрастные геосинклинально-складчатые области со всем набором свойственных им структур, срединные массивы и области автономной тектоно-магматической активизации.

Металлогенические особенности этих структур достаточно полно освещены в ряде работ [80, 112, 282, 341, 439]. В «Очерках металлогении» В. И. Смирнова [341] дана четкая общая характеристика металлогении территории Советского Союза и его наиболее крупных регионов. Региональные особенности проявления месторождений на территории нашей страны наглядно отражены на металлогенических картах СССР, созданных коллективом ВСЕГЕИ [99, 126, 234]. Однако более всесторонне основные закономерности размещения месторождений на территории Советского Союза изложены в одноименной работе [282], которая, на наш взгляд, не потеряла своего значения до сих пор и может служить полноценным справочником по региональной металлогении территории СССР.

Поэтому в настоящем разделе автор не видит необходимости рассматривать подробно металлогению отдельных регионов, повторяя уже известный во многом материал, и отсылает читателя к указанным выше работам; в задачу данного раздела входит освещение некоторых новых особенностей металлогении страны, которые выявились в результате изучения в последние годы главным образом эндогенных месторождений. В связи с этим настоящий очерк представляет собой не описание металлогении конкретных тектонических структур страны, а содержит характеристику некоторых новых данных по металлогении и эндогенным месторождениям крупных рудных регионов и их перспективам.

Русская и Сибирская платформы. Характеристика металлогенических особенностей этих древних структур хорошо освещена в ряде работ [126, 282, 373, 376]. Материалы последних лет не внесли существенных корректив в ранее существовавшие представления о закономерностях размещения в этих структурах месторождений полезных ископаемых.

Как известно, эти древние платформы занимают значительные пространства на территории нашей страны и являются как бы центрами ее тектонического рисунка, вокруг которых располагаются разновозрастные геосинклинально-складчатые области, окаймляющие жесткие структуры древних платформ.

Русская и Сибирская платформы имеют сложное строение, главными элементами которого являются складчатый фундамент архейского и раннепротерозойского возраста и чехол платформ, сложенный в основном полого залегающими и неметаморфизованными породами палеозоя и мезозоя. Металлогения перекрытого фундамента платформ предполагается по аналогии с металлогенией соответствующих щитов, геологические формации которых сходны с породами фундамента. Известно, что металлогения Сибирской платформы более разнообразна и масштабна, чем Русской, определяется интенсивным развитием на первой сложных траппповых интрузий, сопровождаемых медно-никелевым оруденением, а также алмазоносных кимберлитов и щелочных пород с карбонатитами. Указанные три группы месторождений определяют существенно иной металлогенический облик Сибирской платформы по сравнению с Русской, в пределах которой, однако, не исключено выявление месторождений указанных типов. Для Русской платформы характерно развитие в фундаменте платформы гигантских железорудных месторождений (КМА) и выявленных в последние годы алювиальных месторождений бокситов, возникающих по протерозойским сланцам и образующих совместно с железорудными единые, комплексные месторождения. Осадочный чехол платформ содержит бокситовые, фосфоритовые и россыпные месторождения различных полезных ископаемых; в нем сосредоточены крупные месторождения каменной соли, угля, нефти и газа.

В последние годы более отчетливо установлены блоковый характер фундамента платформ, значительная роль в их строении крупных разрывных нарушений, а также интенсивное проявление процессов тектонической активизации. С последними на Русской платформе связаны зоны рудоносных метасоматитов, которые фиксируются в неглубоко залегающих блоках фундамента.

Металлогения Сибирской платформы, в особенности ее вулканогенно-осадочного чехла, приобрела некоторые новые черты, что связано с выявлением в центральных районах этой структуры группы перспективных магнетитовых месторождений в траппах; расширились площади возможного выявления новых медно-никелевых месторождений к югу от известного Норильского района, что позволяет говорить о, возможно, большей роли, чем считалось ранее, меридиональных зон рудоконтролирующих разломов, важное значение которых неоднократно подчеркивал Н. Н. Урванцев.

Особенностью Сибирской платформы в отличие от Русской является более четкая металлогеническая роль пограничных структур: зон разломов и краевых швов, ограничивающих платформу. Это наиболее отчетливо видно на примере восточного сочленения Сибирской платформы со складчатыми структурами Верхоянья, где намечается выделение рудного пояса с разви-

тием комплексной минерализации (Cu, Pb, Zn, Sb, Hg, Au, F).

На Русской платформе зоны сочленения с обрамляющими ее складчатыми структурами практически стерильны в отношении эндогенного оруденения; в особенности это характерно для зон сочленения с Уральской складчатой системой, где, однако, не исключено выявление новых типов месторождений: телетермальных свинцово-цинковых в карбонатных породах, флюоритовых и баритовых, сурьмяных и ртутных. По-прежнему остро для Русской платформы стоит вопрос о ее алмазоносности.

Балтийский щит. Занимает территорию Кольско-Карельского региона, одного из наиболее древних в нашей стране по возрасту слагающих его формаций. Здесь развиты архейские и протерозойские метаморфические комплексы, которые большинство исследователей относит к геосинклинальным образованиям, несмотря на интенсивный метаморфизм пород. Наиболее продуктивна оруденением протерозойская эпоха при подчиненном значении архейской, несмотря на развитие в архее — раннем протерозое (?) достаточно крупных концентраций железа и специфического «пегматитового» комплекса нерудных полезных ископаемых: слюды и керамического сырья.

Ранне-, возможно, среднепротерозойский возраст имеют медно-никелевые месторождения, связанные с массивами основных и ультраосновных интрузий, которые приурочены к краевым частям протерозойских прогибов, выполненных вулканогенно-осадочными формациями [282].

С процессами девонской активизации связано формирование сложных кольцевых интрузий щелочных пород, которые сопровождаются рудоносными карбонатитами (Ковдор, Африканда) и магматическими месторождениями апатит-нефелиновых руд.

Новые открытия на Балтийском щите в последние годы единичны; они относятся к стандартным для этого региона типам. В то же время в регионе получен новый фактический материал, который свидетельствует о широком проявлении процессов протерозойской и палеозойской тектоно-магматической активизации, широком развитии «молодой» разрывной тектоники, четко выраженном блоковом строении Балтийского щита. Эти данные раскрывают определенные новые перспективы в отношении более широкого, чем это считалось ранее, проявления интрузий и месторождений этапа тектонической активизации, в первую очередь ультраосновных и щелочных массивов. В Карелии выявлены своеобразные рудопроявления самородной сурьмы подобные известным в Финляндии. Определилась золотоносность протерозойских зеленокаменных поясов Северной Карелии, однако она практически не изучена.

По-прежнему привлекает внимание рудоносный флиш печенгинской формации протерозоя, в пределах которого известны медно-никелевые месторождения, ассоциирующиеся с основными и ультраосновными интрузиями. По нашему мнению, для

этого района правомерна постановка вопроса о возможном осадочно-гидротермальном генезисе определенной части медно-никелевого оруденения. Эта точка зрения, высказанная много лет назад рядом исследователей, требует проверки с новых позиций. На Воронежском кристаллическом массиве под чехлом платформы выявлены массивы базитов с рудопроявлениями сульфидного никеля.

В Приладожье подтверждается стратиформный характер оловянного и вольфрамового оруденения, их приуроченность к горизонту скарнированных пород; в то же время генезис этих рудных образований все еще не ясен.

В чехле Балтийского щита на его погружении под осадочные отложения Русской платформы установлено более широкое развитие полиметаллической минерализации [308], что позволяет оставить в поле зрения вопрос о выявлении в чехле щита на периферии активизированных зон Приладожья новых для региона стратиформных свинцово-цинковых месторождений телетермального типа.

Таким образом, в металлогении Балтийского щита появились некоторые новые черты, однако они не являются сегодня определяющими. Очевидно, в регионе необходимо усиление поисковых работ прежде всего в слабо изученных районах (например, восточная часть Кольского полуострова, Центральная Карелия), где возможно выявление новых и старых типов месторождений. Как новые вопросы металлогении в повестку для исследователей должны быть включены: золотоносность зеленокаменных поясов докембрия и проблема поисков гидротермально-осадочных, вулканогенно-осадочных рудных месторождений (Pb, Zn, Cu, Ni — ?) в протерозойских формациях.

Украинский щит. Металлогения Украинского щита охарактеризована достаточно полно во многих районах [80, 183]. Ее облик составляют главным образом черные металлы и прежде всего месторождения железистых кварцитов в протерозойских комплексах и месторождения марганца в палеогеновых отложениях чехла. В последнее время на Украинском щите установлено широкое развитие процессов позднепротерозойской и палеозойско-мезозойской тектоно-магматической активизации [183, 468], с которыми связаны флюоритовые, полиметаллические и другие месторождения. В зоне сочленения Приазовского кристаллического массива, являющегося частью Украинского щита, со складчатыми структурами Донбасского авлакогена, в обрамляющих последний зонах разломов открыто Покрово-Киреевское месторождение плавикового шпата. На Украинском щите выявлены не получившие еще промышленной оценки карбонатитовые месторождения с апатитом.

Таким образом, в настоящее время металлогения Украинского щита приобрела более «пестрый» характер; в ее облике заметную роль начинают играть рудные образования, связан-

ные с процессами тектоно-магматической активизации различного возраста; для этого типа рудных образований особую роль играют разрывные нарушения, в особенности в зонах сочленения складчатых сооружений с блоками докембрия. Изучение таких пограничных структур и их металлогении несомненно должно привести к открытию новых месторождений.

Алданский щит. Эта древняя структура хорошо охарактеризована работами Т. В. Билибиной и других [77]. По сравнению с Балтийским и Украинским щитами ее отличает широкое развитие здесь процессов мезозойской тектоно-магматической активизации, сопровождаемых пестрой гаммой рудных месторождений и характерных кольцевых щелочных интрузий. Другая особенность заключается в развитии в восточной части щита в зонах сочленения со складчатыми структурами Сэтте-Дабана телетермальных полиметаллических месторождений, локализующихся в пределах протяженной рудной зоны меридионального простирания.

В докембрийских породах щита недавно открыто крупное месторождение фосфатных руд, представленное трубообразным телом метасоматических апатит-гематитовых пород. Генетические особенности этого месторождения недостаточно еще ясны, однако выявление этого нового для Алданского щита типа минерализации позволяет расширить список месторождений, связанных с докембрийской металлогенической эпохой.

Енисейский кряж. Это крупный выступ складчатого основания Сибирской платформы, сложенный в основном протерозойскими комплексами. В последние годы Енисейский кряж стал местом открытия новых месторождений, существенно изменивших его металлогенический облик. Это относится к выявлению в вулканогенно-осадочных толщах позднего протерозоя центральной части Западно-Енисейской зоны новых рудопроявлений колчеданных руд, а также сурьмяных месторождений, возможно, связанных с процессами тектонической активизации палеозойского возраста (?). Кроме того, на севере Енисейского кряжа в отложениях позднего протерозоя выявлены крупные месторождения марганца; их обнаружение изменило географию размещения месторождений этого металла в пределах нашей страны.

Месторождения и рудопроявления свинца, цинка и меди в Енисейском кряже образуют крупный рудный пояс, протягивающийся в западной части кряжа более чем на 450 км от Ангары до Подкаменной Тунгуски и имеющий ширину до 60 км (по М. Л. Шерману). Пояс приурочен к верхнепротерозойским геосинклинальным вулканогенно-осадочным толщам. В этом регионе более отчетливо, чем ранее, заняли самостоятельное положение сурьмяные месторождения, связанные с крупными зонами нарушений. Их принадлежность к месторождениям зон тектонической активизации окончательно не доказана, но несомненен

их наиболее молодой возраст среди других рудных образований, локализующихся в протерозойских комплексах.

Особое положение занимают гидротермальные, иногда стратиформные месторождения свинца и цинка в карбонатных породах, развитые в восточном обрамлении Енисейского кряжа. Их положение сходно с позицией Майского рудного пояса на востоке Алданского щита и других подобных рудных зон, располагающихся по периферии областей автономной тектоно-магматической активизации [458]. Изучение указанных рудопроявлений таит в себе открытие новых стратиформных месторождений свинца и цинка.

Таким образом, металлогения Енисейского кряжа в настоящее время выглядит более разнообразной и отражает все этапы развития этой структуры. В общей схеме она имеет следующий вид: 1) мусковитовые и редкометальные пегматиты архея; 2) колчеданные месторождения свинца, цинка и меди в связи с вулканогенно-осадочными геосинклинальными формациями позднего протерозоя; 3) золоторудные месторождения и кварцевые зоны в связи с протерозойскими сланцевыми комплексами; 4) марганцевые месторождения в позднепротерозойских — раннекембрийских (?) карбонатных породах; 5) железорудные месторождения Ангаро-Патского бассейна в позднекембрийских (?) толщах; 6) месторождения в связи с процессами тектоно-магматической активизации протерозойского и палеозойского возраста: сурьмяные (Pt ?), редкометальные в щелочных породах; 7) полиметаллические, стратиформные в восточном обрамлении кряжа (Pr ?).

Байкальская горная страна. Занимает большую территорию на севере и северо-востоке Прибайкалья, которая сложена в основном протерозойскими осадочными, осадочно-вулканогенными и интрузивными комплексами, среди которых зажаты блоки архейских пород. Этот регион характеризовался ранее главным образом развитием мусковитоносных пегматитов (Мамский район) и россыпной золотоносностью (Бадайбинский район).

Ныне его металлогения приобрела новые черты. На севере Байкала в верхнепротерозойских осадочно-метаморфических толщах выявлено стратиформное Холоднинское колчеданное месторождение. Рудные зоны месторождения приурочены к трем горизонтам и имеют в общем случае согласное с вмещающими породами залегание. По простиранию рудные зоны прослеживаются на несколько километров; в их пределах устанавливаются тела богатых колчеданных руд, мощность которых в отдельных пересечениях достигает 20—30 м. Рудные залежи вместе с вмещающими породами смяты в складки и метаморфизованы, на что указывают широко развитые явления деформации кристаллов пирита и его замещение пирротином, а также процессы перекристаллизации и регенерации полиметаллических руд. От-

крытие этого месторождения знаменует выявление в нашей стране однозначно докембрийских стратиформных колчеданных месторождений, которые в других странах мира, как известно, представлены очень крупными объектами. С другой стороны, это открытие позволяет с иных позиций оценивать металлогению осадочно-вулканогенных комплексов протерозоя Байкальской горной страны считая их перспективы для выявления новых колчеданных стратиформных месторождений.

В черно-сланцевых протерозойских толщах этого региона выявлены гидротермально-метаморфические месторождения золота — новый тип оруденения в протерозойских комплексах, позволяющий расширить перспективы метаморфических образований этого возраста в других регионах на данный тип оруденения.

Таким образом, новые особенности протерозойской металлогении Байкальской горной страны позволяют говорить о высокой продуктивности этой эпохи на Востоке нашей страны в отношении свинца и цинка и тем самым расширить перспективы протерозойских осадочно-вулканогенных метаморфогенных комплексов на колчеданное оруденение. Последнее обстоятельство особенно важно в связи с широким развитием поисковых работ вдоль трассы БАМ, где подобные образования широко развиты.

Урал. Резкой, четкой, меридиональной структурой вырисовываются на территории Советского Союза линейные геосинклинально-складчатые образования Урала. Характеристике геологии и металлогении Урала посвящено много работ; во всех однозначно признается, что сложно построенные Уральские горы представляют собой классический пример регионов эвгеосинклинального развития с интенсивно проявившимися доорогенными стадиями. Главные структуры Урала, определяющие его металлогеническое лицо, сформировались в герцинское время, хотя образования раннепалеозойского, каледонского времени также широко развиты.

Хорошо известно, что металлогения Урала характеризуется типовым набором рудных месторождений, которые являются особенно показательными для эвгеосинклиналей или геосинклиналей уральского, фемического, типа (геосинклинали типа А по В. И. Смирнову). К таким месторождениям относятся магматические хромитовые и платиновые, месторождения титаномагнетитов в габбро и железорудные месторождения скарнового типа в связи с плагиогранитами, а также весь разнообразный комплекс колчеданных и медноколчеданных месторождений, ассоциирующихся с вулканическими образованиями доорогенных стадий развития эвгеосинклиналей. Именно этот комплекс месторождений определяет металлогеническое лицо Урала как региона с доорогенным эвгеосинклинальным оруденением. В особую группу доорогенных, собственно геосинклинальных место-

рождений, конечно, следует отнести месторождения бокситов.

Месторождения последующих стадий развития не играют в металлогении Урала заметной роли, хотя их наличие свидетельствует о достаточно интенсивных процессах проявления гидротермального оруденения в связи с посторогенными гранитоидами (золото, вольфрам, драгоценные камни, флюорит).

Доорогенная металлогения Урала недавно широко обсуждалась на VIII Всесоюзном металлогеническом совещании [105, 106]. Было подчеркнуто, что достижения в изучении доорогенной металлогении эвгеосинклиналей базируются на внедрении в практику палеотектонического, фациального и палеовулканического анализов, что способствовало открытию на Среднем и Южном Урале медноколчеданных и железорудных месторождений.

Исследования последних лет позволили уточнить геологическое строение Уральских гор. Выяснилось, что Урал имеет более отчетливо выраженное, чем это считалось ранее, блоковое строение; определилось, что широтные разломы, иногда выявляющиеся со значительным трудом и, очевидно, имеющие древнее заложение, развиты весьма широко и имеют определяющее влияние на развитие фаций и формаций осадочных и вулканических пород ранних стадий геосинклинального развития. Рядом исследователей [291] предполагается весьма существенная роль пологих разломов и надвигов; последние действительно закартированы в ряде районов Урала. Высказываются новые соображения о природе хромитоносных гипербазитов, как пологих пластинах мантийного вещества, выжатых по зонам наклонных разломов [291]. Указанные вопросы связаны прежде всего с анализом новых геофизических, а также геологических данных. Они не имеют в настоящее время определяющего значения для выявления новых закономерностей размещения месторождений, но не учитывать их уже нельзя.

Работами Уральского геологического управления установлено, что на Среднем и Северном Урале, севернее Свердловска имеют развитие сложные вулканические постройки, аналогичные известным на юге Урала, с которыми связаны медноколчеданные месторождения. Это обстоятельство позволяет более уверенно говорить о том, что доорогенные колчеданные месторождения образуют в структурах Урала крупный рудный пояс, протягивающийся на тысячи километров, и что на Северном Урале также могут быть выявлены колчеданные и медноколчеданные месторождения в связи с доорогенными эвгеосинклинальными комплексами. Здесь следует отметить и новый подход уральских геологов к изучению некоторых железорудных месторождений (Благодать), которые ныне рассматриваются как гидротермально-вулканогенные, скарнированные более молодыми интрузиями. Такая постановка вопроса по-иному оценивает металлогению девонских эффузивов Урала и расширяет фронт поиско-

вых работ. Последние уже привели к открытию в девонских эффузиях в удалении от гранитоидов новых залежей железных руд.

Другим интересным открытием, по-новому освещающим металлогению осадочных палеозойских формаций, является выявление в сланцевых толщах карбона юга Урала стратиформных сфалеритовых месторождений. К таким месторождениям относится, в частности, Амурское в Челябинской области, где в углеродистых сланцах девона — раннего карбона открыта полого залегающая рудная залежь мощностью от 2,5 до 20 м. Кроме этого месторождения на Урале в настоящее время обнаружен ряд новых перспективных стратиформных полиметаллических рудопроявлений, что позволяет говорить о достаточно широком проявлении в пределах региона стратиформных месторождений свинца и цинка, среди которых возможно открытие и крупных объектов.

В последнее время правомерно ставится вопрос о выявлении на территории Урала меднопорфировых месторождений. И. Г. Павловой и А. М. Мареичевым выделяются крупные зоны, образующие протяженный Восточно-Уральский пояс их возможного развития, в пределах которого уже установлены месторождения такого типа.

На Полярном Урале в пределах Пай-Хоя в связи с зонами молодых разломов проявляется флюоритовая минерализация, которая связана с процессами тектонической активизации консолидированных складчатых структур. Этот тип минерализации имеет, очевидно, на Урале, в особенности в зонах разрывов антиуральских направлений, более широкое развитие.

Важным новым аспектом металлогенических работ в пределах рассматриваемого региона является изучение рудоносности докембрийских образований, которые как слагают крупные блоки среди складчатых структур, так и формируют самостоятельные тектонические элементы типа Башкирского поднятия. Здесь особое внимание должно быть привлечено к вопросам золотоносности протерозойских комплексов, а также открытию в связи с последними полиметаллических стратиформных месторождений.

Таким образом, кроме «стандартных» для эвгеосинклиналей типов оруденения и региональных обстановок их проявления на Урале, этой классической геосинклинально-складчатой системе фемического профиля, в последнее время выявлены новые черты металлогении: а) развитие стратиформных рудопроявлений свинца и цинка в сланцевых и карбонатных толщах палеозоя; б) проявление меднопорфирового оруденения; в) более широкое развитие эпитермальной минерализации, прежде всего флюоритовой, в зонах тектонической активизации; г) намечаемое самостоятельное металлогеническое значение докембрийских комплексов с возможным развитием золотого и полиметал-

лического оруденения (рудопроявления свинца и цинка на Башкирском поднятии уже известны).

Иными словами, металлогения Урала дополняется новыми чертами, когда кроме уже известных «стандартных» месторождений эвгеосинклинального ряда выявляются новые группы перспективных рудных объектов.

Из общерегиональных металлогенических вопросов для Урала важное значение имеют проблема металлогении зон сочленения его складчатых структур со структурами Русской платформы и возможность выявления в этой тектонической позиции пограничных металлогенических зон со специфическим оруденением. Другая важная задача связана с изучением рудоносности погребенных структур «широкого» Урала под отложениями Западно-Сибирской низменности, выяснением характера этих структур и их металлогении и их соотношений со складчатыми сооружениями Казахстана и Средней Азии.

Казахстан. Этот огромный регион, располагающийся южнее Западно-Сибирской низменности на сочленении линейных складчатых структур Урала с запада, Средней Азии и Тянь-Шаня с юго-запада и юга и Алтая-Саяна с востока, представляет собой сложно построенную геосинклинально-складчатую область, в которой выделяются складчатые пояса каледонского и герцинского возраста. Они характеризуются — и это типично для Казахстана — мозаично-блоковым строением, иногда с торцовым сочленением отдельных мозаик. Последние в ряде случаев сложены образованиями докембрия, которые рельефно выступают в геологических структурах Казахстана в виде отдельных блоков типа горст-антиклиналей или более крупных сооружений типа срединных массивов (Кокчетавская глыба).

Металлогения этого региона детально охарактеризована в ряде работ [239, 282, 341]. Она представляет собой сочетание различного пестрого оруденения, характерного для эв- и миогеосинклиналей. Особое положение занимает Иртыш-Зайсанская зона на востоке Казахстана, которая принадлежит к геосинклинальным прогибам парагеосинклинального типа, развивающимся на мощной сиалической коре; в этой обстановке в геосинклинальную стадию возникают полиметаллические и медные колчеданные месторождения, а в период консолидации складчатых структур в связи с гранитоидами — высокотемпературные оловянно-вольфрамовые месторождения.

В последние годы в познании металлогении Казахстана сделан значительный шаг вперед. Он прежде всего обусловлен тремя обстоятельствами: а) установлением более широкого развития комплексных стратиформных месторождений так называемого атасуйского типа, где устанавливается совмещение пластовых железо-марганцевых руд с полиметаллическими баритсвинцово-цинковыми. Эти месторождения сложного генезиса являются продуктами осадочно-гидротермальной деятельности

и связаны с вулканогенно-осадочными комплексами верхнего девона — нижнего карбона; б) широким развитием на территории Казахстана флюоритовой минерализации, в том числе эпитермальной, приуроченной к зонам разломов; в) установлением в ряде районов особой рудоконтролирующей роли разрывных нарушений и большого значения в проявлении оруденения явлений отраженной тектоно-магматической активизации.

Одной из принципиально новых особенностей металлогении Казахстана является установление значительной роли флюоритовой минерализации и открытие новых флюоритовых месторождений в связи с омоложенными разрывными нарушениями. К их числу относится, в частности, выявление на юге Казахстана нового Таскайнарского плавиковошпатового рудного района.

Формирование месторождений флюорита здесь связано с образованием седловидных метасоматических залежей на контакте известняков ордовика и песчаников карбона, которые приурочены к крупным зонам тектонических нарушений. Некоторые из таких залежей не выходят на дневную поверхность. Предполагается, что в Таскайнарском районе месторождения образовались в пермо-триасовое, возможно, и более молодое время в связи с процессами автономной тектоно-магматической активизации (по Я. П. Самсонову).

Интересно выявление в карбонатных отложениях девона Иртыш-Зайсанской зоны Восточного Казахстана стратиформных полиметаллических месторождений, открытие которых позволяет по-новому взглянуть на перспективы ранее считавшихся безрудными франских толщ.

Эти данные свидетельствуют о расширении перспектив Казахстана на новые типы минеральных месторождений, возможностях дополнительного металлогенического анализа этой территории. Последняя еще не раскрыла всех своих возможностей, и задача выявления в ее пределах новых месторождений известных и еще не известных типов по-прежнему является очень важной. Так, например, изучение металлогении докембрийских образований и прежде всего металлогении Кокчетавской жесткой глыбы, которая, по данным Е. Д. Шлыгина [450], во многом сходна с Чешским срединным массивом, может привести к открытию месторождений золота метаморфогенного типа в протерозойских толщах, стратиформных колчеданных руд и серии неметаллических полезных ископаемых (графит, пегматиты). Важно отметить, что практически не изученной в Казахстане остается металлогения зон разломов, обрамляющих блоки-выступы докембрия; здесь в такой структурной позиции не исключена возможность открытия эпитермальных месторождений сурьмы, ртути, флюорита, возможно, золота.

Казахстан — провинция с широким развитием вулканогенных и осадочно-вулканогенных, причем разновозрастных и проявляющихся в различных структурных обстановках комплексов.

Их металлогения ждет дальнейшего изучения и сравнительного сопоставления; это относится прежде всего к полиметаллическим месторождениям атасуйского и рудно-алтайского типов. В связи с вулканогенными формациями мы вправе ожидать выявления и месторождений новых групп в континентальных туфах. Для Казахстана в целом еще очень слабо изучена металлогения золота и олова; не исключено, что эти металлы имеют более интенсивное проявление и представлены месторождениями новых формаций. В частности, концентрации олова здесь могут быть проявлены значительно шире, чем это считается в настоящее время, и на территории Казахстана могут быть открыты сульфидно-касситеритовые, хлорит- и турмалин-касситеритовые месторождения в связи с трещинными интрузиями кислых гранитов пермокарбонового (?) возраста. Во всяком случае задача выявления месторождений олова в Казахстане является одной из перспективных.

Средняя Азия и Тянь-Шань. Горные сооружения этих регионов сложены в основном палеозойскими складчатыми комплексами, прорванными одновозрастными гранитоидами. Их металлогения рассмотрена во многих работах, крупных сводках и обобщениях [99, 292, 341] и характеризуется определенным «среднеазиатским» набором месторождений, типичным для различных этапов развития геосинклинально-складчатых структур. Герцинское оруденение преобладает; оно представлено месторождениями свинца и цинка, шеелитоносными скарнами, месторождениями сурьмы, ртути и флюорита. В последние годы заметную роль в металлогении Тянь-Шаня начинают играть месторождения олова, золота и серебра. Именно эти элементы вносят прежде всего в казалось бы «устоявшуюся» металлогению Средней Азии и Тянь-Шаня новые черты. В особенности это относится к месторождениям олова, выявленным на территории Киргизии в Восточном Тянь-Шане. Эти месторождения связаны с трещинными интрузиями лейкократовых гранитов пермо-триасового (возможно, более молодого) возраста, которые отчетливо контролируются зонами разломов, в ряде случаев поперечными к общему направлению палеозойской складчатости. Они локализуются в пределах протяженной Сарыджаской металлогенической зоны, которая в западном направлении прослеживается на территорию Гиссар-Алайского хребта в Таджикистане, где в последние годы также открыты рудопроявления и месторождения олова. В совокупности эти недавно выявленные месторождения олова образуют крупный оловоносный пояс Южного Тянь-Шаня. Его продолжение на запад намечается единичными рудопроявлениями олова в Зеравшанском хребте в окрестностях Самарканда.

Для наиболее хорошо изученных оловянных месторождений Киргизии устанавливаются их принадлежность к различным формациям, связь с трещинными приповерхностными интрузия-

ми, которые локализуются на пересечении разломов различного простирания, а также многостадийный характер образования месторождений с развитием поздних сульфидных стадий. Олово в настоящее время стало характерным элементом Тянь-Шаня и играет весьма заметную роль в его металлогении. Не исключено, что образование оловянных месторождений связано с процессами мезозойской тектоно-магматической активизации консолидированных палеозойских складчатых структур.

Для месторождений золота в ряде районов Тянь-Шаня намечается тесная связь с осадочными комплексами черносланцевых формаций среднего палеозоя (S—D) в ассоциации с дайками умереннокислых пород. Их генетическая принадлежность в ряде случаев недостаточно ясна: в одних случаях предполагается осадочно-гидротермально-метаморфогенное образование золотых месторождений, в других случаях — их гидротермальный генезис в связи с диоритоидными магмами в условиях умеренных глубин, что более предпочтительно.

Металлогения золота Средней Азии и Тянь-Шаня изучена еще недостаточно и требует постановки всесторонних исследований, основанных на современных геохимических методах определения источников рудного вещества в сочетании с детальным изучением геологии рудных объектов. Однако это обстоятельство не причина для отрицания роли золотого оруденения в металлогении этих регионов, где уже в настоящее время выделяются несколько генетических типов золотых месторождений, имеющих неодинаковый возраст, что, как известно, служит характерным признаком рудных провинций.

В последние годы установлены новые особенности геологического строения Тянь-Шаня (в его широком понимании); так стали более очевидными блоковое строение региона и широкое развитие поперечных к складчатости разнывных нарушений. Каждый из крупных блоков несет определенные индивидуальные черты металлогении. Данные космофотосъемок показывают, что на рассматриваемой территории широко распространены кольцевые структуры различных порядков, генетическая природа которых еще недостаточно ясна. Для отдельных районов намечается определенная связь рудных проявлений с такими кольцевыми структурами.

Большое металлогеническое значение в структурах Средней Азии имеют жесткие блоки и срединные массивы. К ним в первую очередь следует отнести Кураминскую структурно-металлогеническую зону, которая в тектоническом отношении представляет собой, очевидно, срединный массив с развитыми здесь осадочно-вулканогенными комплексами позднего палеозоя.

Именно такая структурная позиция этой зоны была особенно благоприятная для проявления процессов автономной (?) тектоно-магматической активизации, приведших к образованию медно-порфировых, полиметаллических, флюоритовых и других

месторождений, многие из которых ассоциируются с континентальными эффузивами.

Признание самостоятельной роли в структурах Среднего Тянь-Шаня Кураминского срединного массива помогает более правильно понять положение полиметаллических стратиформных месторождений, представителем которых является месторождение Уч-Кулач. Оно располагается на периферии массива в зонах, обрамляющих области проявления процессов автономной тектоно-магматической активизации [458]. Такое структурное положение обычно для месторождений подобного типа. Не исключено, что и в пределах самого Кураминского массива, в его южной части, развиты первоначально стратиформные, затем регенерированные месторождения свинца и цинка, к которым, в частности, относится известное месторождение Алтын-Топкан. Так это или иначе, но во всяком случае к проблеме выявления стратиформных полиметаллических месторождений на периферии Кураминской зоны и в ее внешних частях следует относиться более внимательно.

Известно, что в пределах Тянь-Шаня очень широко развиты складчатые палеозойские осадочные и осадочно-вулканогенные геосинклинальные комплексы, представленные свитами различного возраста и состава. Их металлогения практически не изучена, хотя не исключено, что с ними могут быть связаны не только колчеданные месторождения в сланцах и осадочно-вулканических толщах, но и месторождения новых типов, такие, как осадочно-гидротермальные шеелитовые или касситеритовые; последние в связи с кварцитовыми толщами и в зонах турмалинизированных сланцевых пород. Особое внимание следует уделить возможностям открытия метаморфогенных месторождений золота в сланцевых толщах и низкотемпературных месторождений золота типа Карлин в известняках Кураминской зоны, а также открытия осадочно-вулканогенных месторождений бедных серебряных руд.

Южный Памир. По-видимому, в настоящее время более правильно рассматривать Южный Памир как единый срединный массив, активизированный в связи с развитием окружающих геосинклинальных прогибов. Его юго-западная часть представляет собой основание массива, сложенное докембрийскими образованиями, а юго-восточная имеет более сложное строение, обусловленное наложением на древние комплексы позднепалеозойских и мезозойских прогибов. В меловое время в юго-восточной части массива в связи с зонами крупных разломов формируются рудоносные штоки лейкократовых гранитов и гранит-порфиров, с которыми связаны оловянные месторождения, представленные различными генетическими типами, зонально расположенными вокруг рудоносных интрузий. Так, в апикальной части гранитных штоков локализуются высокотемпературные касситерит-кварцевые штокверки, на некотором удалении от

них кварц-хлоритовые и далее сульфидно-касситеритовые месторождения. В рудном поле развиты низкотемпературные флюоритовые жилы, формирование которых, очевидно, венчает рудный процесс; известны также сидеритовые и сидерит-флюоритовые рудные тела с серебром. На периферии района установлены значительные проявления борной минерализации; создается впечатление, что бор как бы «сброшен» оловоносными гидротермами, его нет в оловянных рудах, но он образует самостоятельные концентрации вне связи с оловянной минерализацией. Новый рудный район на юго-востоке Памира несет, с одной стороны, признаки оруденения западноевропейского типа, пожалуй ближе всего приближаясь к Корнуоллу (флюоритовые, сидеритовые жилы с серебром и их ассоциация с «пестрым» по характеру оловянным оруденением), а с другой,— тяготеет к оловорудным районам Приморья, где хлорит-касситеритовые и сульфидно-касситеритовые месторождения пространственно ассоциируются с проявлениями бора.

Выявление на Памире в активизированных структурах широкой генетической гаммы оловянных рудопроявлений по-новому позволяет оценивать рудоносность этой территории и развитых там мезозойских интрузий, открывает перспективы выявления промышленных месторождений олова разных групп, а также оруденения западноевропейского типа, которые характерны, как известно, для областей автономной тектоно-магматической активизации [458].

Алтае-Саянская складчатая область. Занимает на юге Сибири огромную территорию от Рудного Алтая на западе до Восточного Саяна на востоке. Она охватывает палеозойские геосинклинально-складчатые сооружения, обрамляющие с юга Сибирскую платформу. Этот громадный регион имеет сложное мозаично-блоковое строение с многочисленными выступами докембрийских пород; его складчатые структуры нарушены крупными разломами различных направлений, часто оконтуривающими неодинаково развивающиеся блоки. Характерны поздние наложенные впадины заключительных стадий развития геосинклинального цикла, которые значительно усложняют общий тектонический рисунок региона [113, 282].

Алтае-Саянская складчатая область характеризуется сложной, поликомпонентной металлогенией с ведущей ролью каледонских месторождений железа, свинца и цинка, золота, молибдена и асбеста. В регионе развиты ртутные и своеобразные кобальт-никелевые месторождения. Первые, возможно, имеют мезозойский возраст, и их образование связано с процессами тектонической активизации каледонских жестких структур. Обстоятельная характеристика металлогении Алтае-Саянской складчатой области содержится в ряде работ и отражает сложный полицикличный характер развития этого региона [186, 282].

Важным итогом в исследованиях металлогении рассматриваемого региона в последние годы явилось выявление крупного значения в его развитии процессов тектоно-магматической активизации, с которыми связаны новые типы месторождений. Это в первую очередь относится к выявлению в Восточном Саяне на стыке с тувинскими структурами группы молибденовых и медно-молибденовых месторождений, ассоциирующихся с трещинными штокообразными интрузиями лейкократовых гранитов и гранит-порфиров. Их возраст однозначно не установлен, но, по-видимому, он не древнее позднего палеозоя, возможно, раннемезозойский. Это оруденение образует в Восточном Саяне новый крупный рудный район, рудоносные интрузии которого явно наложены по зонам разломов на консолидированные каледонские структуры.

Другая характерная новая черта металлогении Алтае-Саянской области — широкое развитие в ее пределах эпитермальной флюоритовой минерализации, связанной с крупными зонами разрывных нарушений. По существу сейчас можно говорить о том, что Алтае-Саянский регион представляет собой новую крупную флюоритоносную провинцию, в которой месторождения плавикового шпата связаны с процессами тектоно-магматической активизации каледонских и герцинских складчатых сооружений (А. А. Оболенский, И. П. Качало, В. С. Васильев).

Отмеченные выше новые особенности развития оруденения в Алтае-Саянской области однозначно обусловлены процессами тектоно-магматической активизации консолидированных складчатых структур каледонид, значение которых в формировании промышленного оруденения до последнего времени не было оценено должным образом.

В Алтае-Саянской области все еще слабо изучена рудоносность осадочно-вулканогенных комплексов. Это в первую очередь относится к металлогении кембрийских вулканогенных толщ, с которыми в Туве ассоциируются колчеданные месторождения (Таштыкское). Кроме того, до сих пор не проанализированы должным образом перспективы оруденения осадочно-вулканогенных пород среднего палеозоя, в частности девона, в пределах которых могут быть открыты полиметаллические месторождения, возможно, атасуйского типа. Как особая проблема возникает задача изучения металлогении региональных разломов, крупных шовных зон на стыке структур разных типов, в особенности долгоживущих разрывных зон, обрамляющих блоки докембрия. Здесь могут быть выявлены не только эпитермальные флюоритовые, ртутные и сурьмяные месторождения, но и рудоносные метасоматиты разных типов.

Таким образом, металлогения Саяно-Алтайской складчатой области в настоящее время приобретает новые черты, основу которых составляют наложенные на каледонский субстрат рудные образования, формирование которых связано с процессами

позднепалеозойской и мезозойской тектоно-магматической активизации.

Забайкалье. Этот огромный по площади регион протягивается от оз. Байкал на западе до верховьев р. Амура на востоке. В его границах располагается несколько разновозрастных складчатых зон, каждая из которых характеризуется специфической металлогенией. В этом регионе разновозрастные складчатые зоны обрамляют с северо-запада на юго-восток Сибирскую платформу, постепенно сменяя друг друга. На самом северо-западе выделяются протерозойские (байкальские) структуры Хамар-Дабана, далее к югу широким поясом прослеживаются структуры каледонской складчатой области, которые по зоне Чико-Ингода-Шилкинского краевого шва сочленяются с герцинскими структурами Чикой-Ингодинской зоны и мезозойскими складчатыми структурами Шилка-Аргунского междуречья.

Металлогения Забайкалья охарактеризована в ряде работ [123, 126, 176, 282, 341, 457]; именно этот регион послужил С. С. Смирнову [357, 360] примером для выделения в восточной его части трех крупных мезозойских рудных поясов: золото-молибденового, оловянно-вольфрамового и полиметаллического. В настоящее время поясовое размещение оруденения выглядит более сложно [176, 282].

Важно подчеркнуть, что разновозрастные геосинклинально-складчатые области Забайкалья развиваются циклично одна на структурах другой, последовательно мигрируя с запада на восток, причем каждая более молодая геосинклиналь занимает все более ограниченную территорию.

Наиболее продуктивны в отношении промышленного оруденения две эпохи: раннепалеозойская (Cm_1), с которой связано формирование вулканогенно-осадочных геосинклинальных толщ с осадочно-гидротермальными колчеданными месторождениями, и мезозойская, для которой особенно типичны месторождения, образующиеся в связи с процессами автономной тектоно-магматической активизации (молибден, вольфрам, олово (?), плавиковый шпат). Эти процессы наиболее четко проявились в пределах каледонских и байкальских структур и выразились в образовании наложенных на жесткие структуры субстрата впадин, выполненных мезозойскими континентальными эффузивами и угленосными отложениями. Процессы тектоно-магматической активизации взломали консолидированные складчатые сооружения байкалид и каледонид: возникли новые разломы, произошло обновление древних и перемещение крупных блоков. Вдоль зон разломов внедрились мезозойские интрузии различного состава, несущие различное оруденение. С зонами разломов, обрамляющими наложенные угленосные депрессии, связано образование эпитермальных, прежде всего флюоритовых, месторождений. Последние образуют крупный рудный пояс, протягивающийся от Хамар-Дабана до Олекмо-Витимской страны.

Флюоритовые месторождения известны также в пределах мезозойской складчатой области Шилка-Аргунского междуречья, где тяготеют к Приаргунскому поднятию, крупному блоку байкальских структур, активизированных в мезозое.

Герцинская и мезозойские складчатые зоны Забайкалья, связанные единым планом развития. Их объединяет характер геосинклинальных комплексов и общая северо-восточная складчатость, а также сходство в проявлении разновозрастных интрузивных формаций. Для этих областей в общем случае типичен экстенсивный характер оруденения с проявлением многочисленных мелких и средних по масштабам высокотемпературных месторождений олова, вольфрама и молибдена. Более крупные концентрации свойственны эпитермальным месторождениям золота, реже полиметаллическим и молибденовым месторождениям.

Для мезозойского этапа развития Восточного Забайкалья все еще до конца неясно соотношение процессов тектоно-магматической активизации с поздними стадиями собственно геосинклинальных процессов. На территории Шилка-Аргунского междуречья, где эти процессы проявились наиболее четко, попрежнему вопросы тектонической принадлежности позднеюрских — меловых рудных месторождений однозначно не определены и отнесение их к группе рудных образований, связанных с процессами тектонической активизации, вызывает значительные затруднения. Скорее это месторождения поздних стадий развития мезозойской геосинклинали.

В последние годы познание металлогении Забайкалья, выявление новых закономерностей размещения месторождений в пределах этой территории не сопровождается новыми крупными обобщениями и идеями, которые так необходимы исследователям региона для правильного выбора направлений поисковых работ.

В настоящее время намечаются две группы первоочередных вопросов, связанных с более глубоким изучением металлогенических особенностей Забайкалья. Первая группа вопросов относится к необходимости всестороннего исследования мезозойских континентальных вулканических образований в активизированных каледонских структурах. Молодые вулканические комплексы изучены здесь еще плохо, а их металлические особенности еще практически не установлены. Между тем нет оснований огромные по площади поля мезозойских вулканитов считать безрудными и оставлять их без должного изучения. Особое внимание следует уделить рудоносности туфовых образований, которые с этих позиций до сих пор практически не исследованы. С ними могут ассоциироваться новые типы месторождений, например сереброносные туфы, известные в зонах тектонической активизации Западных штатов США (например, бертрандитовое месторождение Родсайд в штате Юта). Другой

вопрос — поиски среди континентальных эффузивов медно-порфировых месторождений в связи с трещинными интрузиями монцонитоидов и гранодиоритов. Следует иметь в виду, что подобные месторождения уже выявлены на юго-западном продолжении вулканогенного пояса Западного Забайкалья в пределах Монголии.

Вторая группа вопросов связана с изучением рудоносности палеозойских и мезозойских песчанико-сланцевых геосинклинальных комплексов Юго-Восточного Забайкалья на территории Чикой-Ингодинской и Шилка-Аргунской зон. Не исключено, что в этих миогеосинклинальных образованиях могут быть выявлены полиметаллические месторождения филизчайского типа, поиски которых в Забайкалье не проводились.

Для дальнейшего изучения металлогении Забайкалья важно всестороннее познание особенностей формирования рудоносных интрузий в областях тектонической активизации, выявление их многофазного характера становления и определение степени рудоносности каждой фазы. Возможно, такой подход приведет к установлению ярусности оруденения, его этажности в пределах многофазных штоков рудоносных гранитоидов.

В целом общие черты металлогении Забайкалья, намеченные ранее, сохраняют свое значение и в настоящее время. Новый фактический материал показывает совершенно особую ведущую роль процессов тектоно-магматической активизации в металлогении этого региона, которые определяют его как эталонный регион, где эти явления и присущая им металлогения проявляются наиболее контрастно.

Кавказ. В представлениях о металлогении этого региона не произошло в последние годы каких-либо существенных изменений. По-прежнему Кавказ рассматривается как сложное геосинклинально-складчатое сооружение, являющееся небольшим фрагментом огромного Средиземноморского подвижного пояса. Металлогенические особенности Кавказа освещены во многих работах [282, 393], и нет смысла здесь излагать их основные положения. Ведущую роль в металлогении Кавказа играет альпийский (мезо-кайнозойский) цикл развития. С ним связано образование подавляющего числа рудных месторождений. В последние годы на Кавказе установлено важное значение поперечных к общекавказским складчатым структурам разломов, придающих структурам Большого Кавказа блоковое строение.

По нашему мнению, на Большом Кавказе проявились процессы неогеновой тектоно-магматической активизации; с ними, в частности, связано образование Тырныаузского молибден-вольфрамового месторождения, приуроченного к штоку лейкократовых гранитов, имеющих возраст 14—6 млн. лет. По генетическим особенностям это месторождение сходно с молибден-вольфрамовыми месторождениями областей автономной текто-

но-магматической активизации, известными в других регионах (Забайкалье, Западные штаты США). По-видимому, значение процессов тектонической активизации недоучитывается в Кавказском регионе, и их роль в локализации оруденения еще до конца не понята.

В последнее время высказываются мнения о негеосинклинальной тектонической природе структур Малого Кавказа [231]. Этот регион рассматривается как краевая зона активизированных структур Иранской эпибайкальской платформы (срединного массива?). Такой подход с учетом нового фактического материала по геологии Малого Кавказа и, в частности, о неглубоком залегании докембрийских пород под вулканогенными комплексами, на наш взгляд, больше соответствует металлогеническим его особенностям. Именно такая (а не типично геосинклинальная) обстановка характерна для возникновения медно-молибденовых месторождений, как известно развитых на юге Армении. По-видимому, с континентальными вулканическими породами ассоциируются здесь и эпитермальные месторождения золота. В неогеновых эффузивах в последние годы открыто и разведано в Армении Абовянское месторождение магнетитовых руд. Не исключено, что пересмотр представлений о тектоническом режиме развития Малого Кавказа и отнесение этого региона к областям тектоно-магматической активизации Иранской эпибайкальской платформы позволят по-новому осмыслить закономерности размещения месторождений и оценить перспективы их выявления. На геологию и металлогению Малого Кавказа необходим «широкий взгляд» с позиций положения этого региона в альпийских структурах Средиземноморского пояса с учетом материалов по смежным территориям Ирана и Турции, а не стандартный подход с «геосинклинальных» позиций только с учетом связей со структурами Большого Кавказа.

Важнейшие металлогенические задачи — прогноз и выявление в сланцевых толщах Главного Кавказского хребта колчеданных месторождений филизчайского типа. В этом направлении уже сделаны интересные открытия в Западной Грузии, где, однако, установлены значительные концентрации рассеянной минерализации и пока не обнаружены крупные залежи массивных руд.

Приморье. Этот регион характеризуется четко выраженным редкометальным, оловянно-вольфрамовым профилем при подчиненном значении промышленной полиметаллической минерализации. Для локализации месторождений характерна их приуроченность к широтным зонам повышенной проницаемости в пределах которых локализуются мезозойские рудоносные интрузии. Новым элементом металлогении в этом регионе является проявление в связи с вулканогенными комплексами Сихотэ-Алинского звена Восточно-Азиатского пояса золото-сереб-

ряной и медной минерализации. Перспективы этого оруденения еще не раскрыты; в настоящее время намечается преобладание серебряного оруденения над золотым. Не полностью раскрыты особенности металлогении догеосинклинального фундамента мезозоид и, в частности, перспективы выявления колчеданных месторождений в палеозойских комплексах Приморья [282]. Определенные перспективы имеют также пограничные зоны на сочленении Буреинского и Ханкайского срединных массивов со складчатыми мезозойскими структурами. В этих зонах возможно выявление эпитермальных ртутных, сурьмяных и флюоритовых месторождений, а также цепочек интрузивных и вулканических пород, из которых первые сопровождаются оловянным или вольфрамовым оруденением, а вторые — золото-серебряной минерализацией.

Северо-Восток СССР. Под Северо-Востоком понимается огромная территория, простирающаяся от Сибирской платформы на западе до Охотского и Чукотского морей на востоке. Она представляет собой сложно построенную складчатую область мезозойского возраста, в строении которой отчетливо выделяются три главных структурных элемента: а) жесткие срединные массивы: Колымский, Омолонский, Охотский; б) окружающие их мезозойские складчатые зоны и в) Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, наложенный на две первые группы структур. Металлогению Северо-Востока нашей страны всегда характеризовали три элемента: золото, вольфрам и олово, представленные в различных типах месторождений. В последние годы в этом регионе кроме выявления новых месторождений олова штокверкового типа открыты неизвестные здесь ранее месторождения сурьмы и ртути. Они, как правило, приурочены к крупным разломам, обрамляющим Колымский срединный массив, и локализуются в самостоятельных рудных зонах. На Чукотке выявлено своеобразное тунгстенит-киноварное месторождение Тамватней. Широкое развитие месторождений и рудопроявлений сурьмы и ртути позволяет считать, что эта минерализация столь же характерна для региона, как оловянное и вольфрамовое оруденение.

Особое металлогеническое положение занимают зоны сочленения Алданского щита со складчатыми структурами Яно-Колымской геосинклинали. Здесь, в Южном Верхоянье в пределах хребта Сэтте-Дабан установлено широкое развитие телетермальных стратиформных свинцово-цинковых месторождений, приуроченных к известнякам нижнего кембрия. В этой же зоне устанавливаются проявления барита и флюорита. В песчаниках и туфопесчаниках девона в этой пограничной структуре отмечается широкое развитие медной минерализации. Там же, в Южном Верхоянье, несколько восточнее Алданского щита среди геосинклинальных комплексов Яно-Колымской зоны намечается интенсивное проявление золото-сурьмяного оруденения,

приуроченного к пересекающимся разломам широтного и северо-западного простираний, образующим своеобразную сетчатую структуру. Зоны разломов в этом районе, очевидно, отражают границы крупных блоков в фундаменте мезозойских прогибов. Не исключено, что здесь возможно выявление новых крупных месторождений сурьмы.

На севере Верхоянья недавно установлены в юрских глинистых сланцах, переслаивающихся с липаритами, их туфами и туфопесчаниками, крупные согласные залежи полосчатых галенит-сфалеритовых руд. Руды одного из месторождений — Ходойтохского — характеризуются своеобразными линейно-полосчатыми текстурами с элементами косой слоистости и, несомненно, имеют осадочно-гидротермальный генезис.

Особое место в металлогении Северо-Востока занимают вулканогенные образования Охотско-Чукотского пояса, с которыми связаны эпитермальные золоторудные и золото-серебряные месторождения. Обращает на себя внимание широкое развитие серебряной минерализации, иногда в пространстве связанной с оловянной. Золото-серебряное оруденение приурочено во многих случаях к палеовулканическим структурам, в некоторых районах оно локализуется среди мезозойских комплексов субстрата. В последнем случае отмечаются значительный размах оруденения и его выдержанность по падению. В мезозойских вулканогенных породах Охотско-Чукотского пояса в последние годы открыты интересные рудопроявления меднопорфирового типа.

Рассмотренные выше новые типы оруденения позволяют в настоящее время говорить о широком спектре месторождений на Северо-Востоке СССР и считать, что кроме традиционных для этого региона золота, олова и вольфрама для его металлогении не менее характерны сурьма, ртуть и серебро, а также свинец, цинк и медь.

О некоторых особенностях Колымского срединного массива. Жаркие дискуссии разгораются в настоящее время вокруг вопросов, связанных с установлением тектонической природы Колымского массива. С. М. Тильман, Н. А. Шило и другие исследователи полагают, что Колымского массива как срединной структуры с древним докембрийским основанием и молодыми наложенными прогибами нет; на его месте, по их мнению, развивается сложно построенная палеозойская эвгеосинклиналь, складчатые сооружения которой перекрыты более молодыми комплексами. Эту точку зрения не разделяет М. В. Муратов [256], считающий, что Колымский массив представляет собой часть деформированной древней (Верхояно-Колымской) платформы. Особенности развития рудных образований позволяют, по мнению автора, уверенно утверждать, что жесткая стабильная структура — Колымский срединный массив — существует, причем уже в девоне в его пределах или во всяком случае на

юге массива уже господствовал платформенный режим. На это обстоятельство указывает развитие в Ягодинском районе стратиформных месторождений свинца и цинка, сходных по ряду особенностей с полиметаллическими месторождениями района Пайн-Пойнт на Канадском щите. Урультунское полиметаллическое месторождение на Колымском массиве приурочено к полого залегающим известнякам верхнего девона — нижнего карбона. Оно представлено крупными стратиформными телами сфалерит-галенитовых руд с флюоритом, которые залегают среди доломитизированных известняков.

Другой важной металлогенической особенностью, позволяющей относить Колымский срединный массив к категории подобных структур, является характерное его опоясывание зонами развития сурьмяных и ртутных месторождений, приуроченных к долгоживущим разломам, оконтуривающим консолидированный субстрат массива. Последний обнажается на его периферии в виде блоков, образуя окраинные поднятия. Выявление в тектонических зонах, обрамляющих Колымский срединный массив, сурьмяных месторождений интересно прежде всего как пример открытия специфической группы рудных образований, еще совсем недавно считавшихся нехарактерной для огромной территории Северо-Востока, а также как пример, показывающий, что рудные образования определенных типов являются надежными индикаторами тектонической обстановки, в данном случае отражающей проявление сурьмяных и ртутных месторождений в зонах региональных тектонических нарушений, обрамляющих жесткую структуру на ее сочленении с мобильными геосинклинальными прогибами. Такая структурная позиция указанных месторождений, как известно, характерна для них во многих регионах.

Камчатка. Металлогения этого региона изучена все еще недостаточно. Новым для него является открытие эпитермального золото-серебряного оруденения в связи с верхнемеловыми палеогеновыми эффузивами, а также золото-полиметаллической минерализации, по облику напоминающей месторождения мексиканского типа.

* * *

В последние годы в Советском Союзе достигнуты значительные успехи как в области познания региональных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, так и в изучении отдельных их групп. Пожалуй, наиболее весомые результаты при изучении месторождений получены в следующих трех направлениях: 1) при изучении стратиформных месторождений, 2) месторождений, связанных с вулканогенными формациями, 3) рудных месторождений, имеющих докембрийский возраст.

Выявление и изучение стратиформных месторождений привело к интересным новым открытиям рудных месторождений в различных районах страны. При этом следует иметь в виду, что в группу «стратиформных месторождений» входят различные по генезису, возрасту и минеральному составу месторождения; общее у них — пластообразная форма и стратиграфический контроль оруденения, однако эти характерные особенности позволяют объединять достаточно разнообразные месторождения в одну группу. Среди последних открыты свинцово-цинковые, железорудные, марганцевые и золотые месторождения. Месторождения свинца и цинка представлены несколькими типами: это и характерные «телетермальные» полиметаллические месторождения в карбонатных породах (Сардана, Якутия; Уч-Кулач, Узбекистан) и колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенных породах, в разрезе которых присутствуют эффузивы (Ходойдохское, Якутия; Аданге, Абхазия), и преимущественно цинковые (сфалеритовые) месторождения в сланцевых толщах карбона на Урале (Амурское). В эту же группу стратиформных месторождений следует отнести полиметаллическое месторождение Холодненское, открытое в протерозойских толщах Северного Прибайкалья, и свинцово-цинковое месторождение Жайрем в вулканогенных комплексах палеозоя Казахстана. К стратиформным месторождениям принадлежат и некоторые золоторудные месторождения гидротермально-метаморфогенного типа, а также обнаруженные в Якутии и на севере Читинской области железорудные месторождения Чара-Токкинского района.

Одним словом, среди открытых в последние годы месторождений стратиформным принадлежит особая роль; именно среди месторождений этого типа выявлены наиболее значительные объекты, причем для полиметаллических месторождений эта морфологическая группа приобретает ведущее значение при поисках и разведке наиболее масштабных объектов.

Второе направление, связанное с расширением поисковых работ, основанных на научных предпосылках, характеризуется более энергичным, чем это было ранее, изучением рудоносности вулканогенных комплексов и ассоциирующихся с ними рудных месторождений.

Именно всестороннее изучение вулканических комплексов палеозоя привело к открытию новых свинцово-цинковых и марганцевых месторождений в Атасуйском районе Казахстана и медных месторождений колчеданного типа на Южном Урале. Поисковыми работами открыта в сущности новая железорудная провинция в траппах центральных районов Сибирской платформы. В казалось бы хорошо изученных молодых вулканических толщах Армении, которые считались стерильными в отношении оруденения, при более детальном их исследовании выявлено промышленное Абовянское месторождение магнетита.

Развитие научных исследований и поисковых работ в пределах вулканических поясов на востоке нашей страны привело к открытию золотых и золото-серебряных месторождений, среди которых выявлены месторождения нескольких генетических типов, в том числе серебро-свинцово-цинковые «мексиканского» типа, где серебро ассоциируется с галенитом и сфалеритом в своеобразных полосчато-кокардовых рудах приповерхностных месторождений.

В последние годы изучение мезокайнозойских вулканических комплексов указанных вулканических поясов однозначно выявило их ярко выраженную золото-серебряную специализацию. Кроме того, в этих структурах открыты медно-молибденовые рудопроявления порфирового типа, масштабы которых еще не оценены. Эти особенности рудоносности вулканических комплексов в пределах советского сектора Тихоокеанского рудного пояса сходны с характерными для американских секторов этой глобальной рудоносной структуры, что позволяет увереннее применять метод аналогий при научных исследованиях и постановке поисковых работ.

Третье направление связано с более интенсивным изучением в прошедшее пятилетие рудоносности докембрийских комплексов, процессов метаморфизма, определяющих миграцию и концентрацию рудного вещества. В этом аспекте следует отметить выявление протерозойских полиметаллических месторождений в Северном Прибайкалье, установление золотоносности черносланцевых формаций протерозоя в ряде регионов страны и, по-видимому, гидротермально-метаморфогенного генезиса, связанных с ними золоторудных проявлений, открытие в докембрии Енисейского кряжа перспективных рудопроявлений марганца. Особо следует отметить выявление нового железорудного Чаро-Токкинского района в докембрийских (вероятно, архейских) комплексах на территории Юго-Западной Якутии и на севере Читинской области. Это открытие имеет первостепенное значение, так как оно сделано в зоне трассы БАМ, в территориальной близости от высококачественных коксующихся углей Южно-Якутского бассейна, что создает крайне благоприятные условия для развития в этих районах новых крупных промышленных комплексов черной металлургии.

Указанные три направления в определенной степени связаны между собой, что в значительной степени, по-видимому, определило и имеющиеся достижения. Так, например, для многих докембрийских месторождений характерен стратиформный облик рудных тел, так же как для полиметаллических месторождений, связанных с вулканическими формациями; при всей сложности и полигенности их образования пластообразный характер рудных тел имеет определяющее значение.

В области региональной металлогении достижения последних лет связаны с двумя направлениями: первое охватывает

разработку теоретических вопросов; второе связано с более глубоким познанием металлогении конкретных регионов.

По первому направлению наибольшие успехи достигнуты в области изучения металлогении эвгеосинклиналей, точнее — детализации особенностей развития этих структур и проявлении в них рудных процессов, а также в исследовании металлогении областей тектоно-магматической активизации. Эти вопросы были рассмотрены в предыдущих главах работы. Многое сделано и в изучении региональной металлогении конкретных крупных территорий и провинций. Пожалуй, общее для многих регионов — установление в их пределах оруденения, связанного с процессами активизации консолидированных структур, новый подход с этих позиций к оценке и переоценке перспектив потенциально рудоносных площадей. Установлено важное значение для локализации оруденения во многих регионах антискладчатых разрывных нарушений (Кавказ, Забайкалье, Урал, Алтай).

По-иному оценивается в настоящее время роль жестких структур фундамента геосинклинально-складчатых зон, которые в современном эрозионном срезе представлены крупными блоками, горст-антиклинориями, реже срединными массивами. Зоны их сочленения со складчатыми структурами геосинклиналей, омоложенные тектонические швы по их периферии представляют собой перспективные рудные зоны, особенности развития которых и типы связанных с ними месторождений еще до конца непонятны. Пересмотр металлогении некоторых регионов с этих позиций позволил, например, ряду исследователей прийти к выводу о перспективности на эпитермальный флюоритовый тип оруденения Алтае-Саянского региона, где проявления плавикового шпата частично локализуются в зонах разломов, обрамляющих блоки докембрия. По А. А. Оболенскому, такие месторождения имеют мезозойский возраст. С явлениями тектонической активизации консолидированных структур связано формирование оловорудных месторождений Памира, флюоритовых месторождений Казахстана. Не исключено, что на Кавказе именно этими процессами обусловлено появление молибден-вольфрамового месторождения Тырныауз, связанного с трещинными интрузиями, приуроченными к зонам разломов антикавказского направления.

Какие же новые выводы следуют из перечисленных выше данных для уточнения региональных металлогенических особенностей территории нашей страны?

Прежде всего следует отметить, что изменилась география размещения месторождений некоторых металлов, определились новые рудные провинции и районы, изменились представления о продуктивности некоторых металлогенических эпох. В особенности контрастно изменилась география размещения месторождений таких пар металлов, как олово и золото, с одной сто-

роны, и ртуть и сурьма, с другой. Как отмечалось выше, олово и золото всегда были характерны для Северо-Востока СССР, а ртуть и сурьма — для Средней Азии. Сегодня первая пара металлов столь же типична для металлогении Средней Азии, сколь вторая характерна для северо-восточных районов нашей страны. Выявление протерозойских месторождений марганца в Енисейском кряже показывает, что промышленные концентрации этого элемента характерны и для районов Центральной Сибири.

Изменились представления и о рудной продуктивности отдельных эпох, их металлогенический облик стал более полным. Так, протерозойская металлогеническая эпоха на территории нашей страны ныне характеризуется не только значительными концентрациями железа, с ней связаны теперь крупные полиметаллические и марганцевые месторождения. В этом отношении она не отличается по металлогеническим особенностям от других регионов мира, где развиты докембрийские месторождения (Австралия, Индия). Каледонская металлогеническая эпоха приобрела в некоторых регионах страны отчетливо выраженный полиметаллический (колчеданный) облик в связи с открытием новых месторождений подобного типа (Тува, Западное Забайкалье). Для герцинской металлогенической эпохи ныне для территории нашей страны (в особенности Среднеазиатской металлогенической провинции), олово стало характерным элементом ее металлогении.

Для мезозойской металлогении (и эпохи) более четко, чем ранее, определилось значение полиметаллического и колчеданного оруденения в связи с открытием подобных месторождений в юрских сланцевых толщах Большого Кавказа и Верхоянья. Для Востока нашей страны мезозойская металлогеническая эпоха кроме известных ранее месторождений олова, вольфрама, молибдена, золота характеризуется новыми элементами и месторождениями, среди которых ведущее значение имеют сурьма, ртуть и серебро.

Большее значение, чем раньше, в металлогении альпийских провинций в настоящее время имеют золото и серебро (Малый Кавказ, Камчатка). Для оруденения, связанного с процессами тектоно-магматической активизации, особую роль во многих регионах играет пермо-триасовый период, во время которого происходило образование многих месторождений. Например, в Киргизии — оловянных, Казахстане — флюоритовых, Алтае-Саяне — молибденовых и медно-молибденовых, Западном Забайкалье — вольфрамовых и молибденовых.

В последние годы оформились новые крупные рудные районы и провинции: к их числу относятся провинция колчеданных протерозойских месторождений, обрамляющая с юга и юго-востока Сибирскую платформу; новый район (по существу рудная провинция) марганцевого оруденения в Енисейском кряже;

крупный рудный пояс с колчеданным кембрийским оруденением, протягивающийся из Тувы в центральные районы Западного Забайкалья; Майская полиметаллическая провинция (рудный район) в Южном Верхоянье со стратиформными свинцово-цинковыми телетермальными месторождениями. На Северо-Востоке страны определились новая рудная провинция с мезозойским сурьмяно-ртутным оруденением, а также Притихоокеанская (Охотско-Чукотская) золото-серебряная провинция с месторождениями золота и серебра в вулканических комплексах мезозоя.

Имеются основания предполагать, что в ближайшие годы в разряд принципиально новых рудных провинций с мезозойской эпитермальной флюоритовой минерализацией будет отнесена огромная территория Алтае-Саянской складчатой области; в ее восточных районах намечается выделение нового медно-молибденового района.

Таким образом, исследования в области региональной металлогении, конкретные открытия месторождений в результате широких поисковых работ вносят определенные коррективы в наши знания о металлогении страны, ее металлогенических эпохах и провинциях.

Краткое изложение некоторых новых данных по металлогении отдельных регионов показывает, какие еще нераскрытые возможности таят в себе, казалось бы, хорошо изученные регионы, в том числе и «потерявшие» перспективы. Несомненно, творческий подход к изучению региональной металлогении нашей страны приведет к открытию новых рудных районов и провинций, в которых наряду с традиционными месторождениями будут выявлены нестандартные месторождения новых типов и «старые» регионы обретут «второе дыхание».

ГЛАВА 9

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ЗАДАЧИ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бурное развитие металлогенических исследований в нашей стране, начавшееся в 50-е годы, продолжается и в настоящее время. Основой для этих исследований служит огромный фактический материал, полученный прежде всего в результате составления металлогенических карт различных масштабов рудных провинций Советского Союза. Именно всесторонний анализ этого материала позволил сделать выводы о развитии геосинклинально-складчатых и платформенных областей, выделить их металлогенические типы, увидеть новые закономерности в раз-

мещении месторождений полезных ископаемых, наметить основные черты металлогении областей тектоно-магматической активизации и т. п.

В процессе этих работ совершенствовалась методика металлогенического анализа, намечались общие пути подхода к оценке масштабов рудоносности перспективных территорий.

К настоящему времени металлогеническими исследованиями занимается большой отряд специалистов научно-исследовательских институтов, вузов и производственных организаций. За рубежом волна металлогенических обобщений только начинает захватывать представителей разных геологических школ и стран, которые особенно «активизировались» в связи с попытками выявить новые закономерности размещения месторождений на основе гипотезы тектоники плит.

В общем комплексе металлогенических исследований отчетливо намечаются три направления, различных по масштабам и конечным целям: глобальная металлогения, региональная металлогения и металлогения рудных районов.

Глобальная металлогения ставит целью изучение планетарных закономерностей размещения и возникновения рудных месторождений в масштабе всего земного шара, его полушарий и реже отдельных континентов, а также анализ и объяснение причин сочетания в пространстве различных рудных провинций и т. п. Объекты изучения здесь не столько месторождения и их региональные и локальные закономерности проявления, сколько крупные рудные провинции, которые они образуют. Это направление является наиболее молодым в металлогенических исследованиях; особенно бурно оно развивается за рубежом в связи с новыми идеями глобальной тектоники. Изучение планетарных закономерностей размещения рудных месторождений приобретает сейчас особый интерес в связи с тем, что новые представления о тектоническом развитии земной коры позволяют перейти к широким металлогеническим обобщениям в масштабе всей нашей планеты.

Региональная металлогения, может быть, более правильно — металлогения крупных рудоносных регионов (или провинций), ставит целью выявление главных региональных закономерностей рудных месторождений в пределах крупных рудоносных площадей, по масштабам сопоставимых с рудными провинциями, как правило совпадающими с главными структурными элементами земной коры. Именно металлогеническому анализу последних и посвящена наша работа.

Металлогения рудных районов — это направление металлогенических исследований, целью которого является изучение закономерностей развития месторождений на локальных рудоносных площадях.

При изучении закономерностей размещения рудных месторождений можно изучать все месторождения, известные в дан-

ной конкретной провинции или районе, или заниматься исследованием месторождений только определенного элемента, прослеживая его эволюцию со всеми особенностями концентрации данного элемента в виде месторождений в общем ходе развития конкретных геологических структур земной коры. Такое изучение отдельных элементов некоторыми исследователями называется специальной металлогенией [439, 441].

Каждое из этих направлений, естественно, должно дополнять и развивать друг друга. Особенно это относится к изучению месторождений, выявлению их характерных диагностических признаков, свойственных только месторождениям конкретных формаций.

Говоря о дальнейших путях развития металлогенического анализа, мы не считаем возможным отмечать необходимость развития только одного из указанных направлений — все они должны развиваться совместно и гармонично. Однако, как нам представляется, именно региональная металлогения, или металлогения крупных рудоносных регионов, является в первую очередь тем направлением, с развитием которого связаны решение практических задач, прогноз новых рудных зон, районов и месторождений. Поэтому дальнейшее совершенствование и развитие металлогенических исследований именно этого направления приобретает большое прикладное значение.

В чем же заключаются основные пути дальнейшего развития металлогенического анализа? Какие задачи стоят перед региональными металлогеническими исследованиями ближайшего времени? Или же степень наших металлогенических исследований столь совершенна, что практически все уже решено и сделано?

Прежде всего отметим, что в настоящее время разработка теоретических основ металлогенического анализа не проводится крупными научными коллективами, а это в определенной степени сдерживает развитие данного направления. Кроме того, в последние годы при региональных металлогенических исследованиях наметилась явная тенденция к излишне широким обобщениям без анализа нового фактического материала. К сожалению, это нашло отражение в ряде работ.

Перед региональным металлогеническим анализом стоят конкретные и важные задачи, связанные с познанием новых закономерностей размещения рудных месторождений, прогнозом и оценкой рудоносных территорий. К ним в первую очередь относятся следующие:

— выявление закономерностей размещения рудных месторождений в типовых структурно-металлогенических (рудных) зонах, характерных для крупных структур геосинклинально-складчатых областей, платформ и областей тектоно-магматической активизации. Эти исследования необходимо проводить на структурно-формационной основе с выделением харак-

терных рудных формаций, типичных для конкретных структур. В этом направлении уже достигнуты определенные успехи исследованиями как коллектива ВСЕГЕИ, так и геологических институтов стран — членов СЭВ [282, 285, 286];

— установление диагностических признаков месторождений разных рудных формаций с целью использования этих данных при прогнозной оценке рудоносных территорий;

— всестороннее изучение характера и природы разрывных тектонических нарушений и их роли в локализации оруденения; металлогеническая типизация разломов;

— выяснение роли субстрата (фундамента) для локализации оруденения и установление надежных признаков субстрата, влияющих на образование месторождений, определение признаков экстрагирования рудного вещества из пород субстрата и концентрации его в месторождениях в верхних структурных этажах;

— изучение соотношений процессов отраженной и автономной тектоно-магматической активизации; их более полная характеристика в сравнительном плане; обоснованная классификация активизированных областей разных типов по сумме геолого-геофизических и металлогенических признаков;

— определение диагностических признаков рудных формаций областей тектоно-магматической активизации; выявление надежных отличительных или сходных черт геологических формаций (в том числе рудных) поздних стадий развития складчатых областей и областей автономной активизации;

— достоверное установление взаимосвязи телетермальных стратиформных месторождений с процессами тектоно-магматической активизации;

— металлогенический анализ новых областей отраженной и автономной активизации с целью получения конкретных рекомендаций по направлению поисковых работ на новые типы месторождений, новые рудные районы и провинции;

— широкое использование региональных геофизических и особенно геохимических материалов для металлогенического анализа и прогноза; определение геохимических и геофизических параметров (критериев) для выяснения положения перспективных рудных зон и районов;

— изучение роли региональных поперечных разрывных структур локализации оруденения; более глубокое познание значения блокового характера развития отдельных геосинклинально-складчатых областей локализации оруденения;

— создание детальной классификации рудоносных структур геосинклинально-складчатых областей, платформ и областей тектоно-магматической активизации с характеристикой на структурно-формационной основе признаков наиболее перспективных рудных зон и районов, специализированных на определенный комплекс месторождений;

— разработка современной классификации главнейших структурных элементов земной коры (в том числе с использованием представлений новой глобальной тектоники и планетарной металлогении);

— ликвидация отставания в деле изучения металлогении отдельных элементов как в пределах конкретных рудоносных регионов, так и в пределах главных структурных элементов земной коры в целом; изучение закономерностей проявления определенных элементов в пространстве и во времени, особенно их промышленных концентраций в виде месторождений, позволяет полнее познать эволюцию и характер рудных процессов в конкретных структурах земной коры, предвидеть появление новых (еще неизвестных) типов месторождений. Познание металлогении отдельных конкретных элементов — одна из важных задач дальнейших металлогенических исследований;

— необходим переход в ближайшие годы к количественным прогнозам, прогнозам запасов полезных ископаемых в точных цифрах; определение параметров прогнозируемых месторождений, а также оценка запасов рудных месторождений в целом по рудным зонам, районам и другим рудоносным структурам; применение математических методов оценки рудоносных территорий, разработка математических моделей типовых рудоносных структур, основанных на учете важнейших признаков, определяющих масштабы рудных концентраций.

С каждым годом все более очевидной становится особая роль разрывных нарушений в локализации оруденения; по существу это положение является геологической аксиомой. При анализе особенностей размещения месторождений в последнее время в ряде работ уделяется большое внимание влиянию фундамента и его разломов на особенности размещения оруденения. Так, например, В. Д. Нартикоевым [261], Л. М. Эвансом и С. И. Маруфом [490] отчетливо показано влияние длительно развивающихся разломов фундамента на размещение месторождений Чукотки и Британских островов. В интересной работе Д. Гайллулу [502] «Линеаменты — неэффективный поисковый признак рудных месторождений» проанализирована роль региональных разрывных нарушений планетарного класса в локализации оруденения и на примере линеаментов Северной Америки показано, что размещение месторождений не зависит от последних, а обусловлено более локальными геодинамическими условиями в сочетании с благоприятными для рудоотложения физическими свойствами горных пород.

Однако до сих пор выполнено мало исследований, посвященных классификации разрывных нарушений и разломов земной коры для целей металлогенического анализа. Единичные попытки [320, 321] в основном, как правило, касаются характеристики региональных межблоковых нарушений.

В связи с этим заслуживает внимания более детальная

классификация рудоносных зон разломов, предложенная Д. В. Рундквистом, В. А. Унксовым и Д. М. Мильштейном [327]. Эти исследователи по морфокинетическим особенностям выделяют следующие семь систем рудоносных зон разломов:

1) системы взаимосвязанных крутопадающих линейных и кольцевых разломов (раздвигов и сбросов) континентальных и межконтинентальных рифтов; они контролируют на щитах и платформах размещение разнообразного магматизма и оруденения — Cr, Fe, Ti, Ni, Cu, Zn, Pb, TR, а также неметаллов — флогопита, алмаза, асбеста и др.;

2) системы «ортогональных» крутопадающих разломов срединно-океанических хребтов, образованные сочетанием протяженных зон раздвигов и «трансформных» сдвигов, располагающихся с определенной периодичностью. Контролируют размещение оруденения преимущественно сидерофильных элементов — Fe, Mn, Ti, Cr, Ni;

3) системы дугообразных наклонных и крутопадающих поперечных разломов островных дуг и континентальных окраин (зон Беньофа). Характерно асимметричное строение сопряженных систем разломов — развитие поперечных разломов в висячем боку зон поддвигов, падающих под континент. В размещении оруденения проявляется зональность: однонаправленная поперек дуг и симметричная по их простиранию со сменой руд сидерофильных элементов халькофильными на периферии (Cr) Fe, Cu→Cu (Mo)→ZnPb→AuAg; Sb, Hg;

4) системы, образованные сочетанием взбросов, надвигов (иногда переходящих в шарьяжи) и оперяющих их крутопадающих разломов малой протяженности, преимущественно взбросо-сдвигов. Нередко отчетливо экранируют оруденение. Приобретают важное значение в зонах обрамления платформ, передовых прогибов, локализующих стратиформные (Cu, Pb — Zn, Sb — Hg) месторождения;

5) системы сопряженных крутопадающих разломов различных порядков, проявляющихся в виде параллельных и косоориентированных сбросов и оперяющих их разрывов и сбросо-сдвигов. Повышенная рудоносность характерна для периферических частей систем, где разломы разветвляются и выполаживаются, контролируют многие метасоматические (скарновые, гумбеитовые), а также жильные кварц-карбонат-барит-флюоритовые месторождения, месторождения Au, Cu — Au, Zn — Pb, U — Co — Ni — Bi — Ag и др.;

6) системы «вихревых», S-образно изогнутых и круто- и пологопадающих разломов, проявляющиеся, как и предыдущие, в различных масштабах — от региональных до локальных. Обычно представлены системами параллельных кулисообразных систем сдвигов, взбросо-сдвигов и оперяющих их более мелких разрывов 2-го, 3-го и т. д. порядков, ориентированных под острым углом (30—60°) к направлению смещения внешне-

го блока. Имеют определяющее значение для размещения жильных и метасоматических (грейзеновых, березитовых и других месторождений Au, As, W, Mo, Sn, Be);

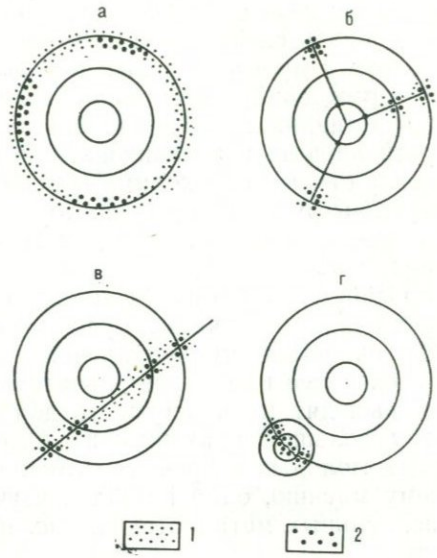
7) системы радиально-концентрических разломов, образованные коническими и радиальными разрывными и сколовыми трещинами. В идеализированной схеме кольцевые и радиальные разломы располагаются закономерно: первые с определенной периодичностью, вторые — под близкими углами. Контролируют оруденение различных типов, в том числе карбонатитов, фенитов, фельдшпатолитов с минерализацией Fe, Ti, Nb, Ta, Zr, TR, Th, а также алмазоносных кимберлитов. Наиболее крупные концентрации возникают в местах пересечения концентрических и радиальных систем [327, с. 40—41]. Выделенные системы разломов различны по масштабам и как бы закономерно сменяют друг друга. В то же время их взаимосвязь во многих регионах относительна, а металлогеническое значение недостаточно конкретно и подчас спорно. Поэтому всестороннее изучение разломов земной коры, их классификация по особенностям рудоносности, установление закономерностей проявления в пространстве и во времени по-прежнему являются важной задачей геологических исследований, направленных на совершенствование металлогенического анализа.

В последние годы для целей металлогенического анализа в большей степени, чем раньше, привлекаются геолого-морфологические методы исследований [279, 280, 288]. Недавно В. В. Соловьев [369] удачно показал возможности использования морфоструктур центрального типа для прогнозной оценки территории СССР на полезные ископаемые. Этим исследователем были эмпирически установлены следующие наиболее перспективные позиции локализации оруденения по отношению к морфоструктурам центрального типа (рис. 23): а) во внешних концентрах морфоструктур; б) в каркасных узлах морфоструктур; в) в зонах пересечения каркасных элементов региональными разломами и скрытыми разломами фундамента; г) на площадях интерференции разнопорядковых и разновозрастных морфоструктур центрального типа; д) в апикальных частях одиночных купольных форм, особенно при пересечении их глубокими разломами. В. В. Соловьев на ряде примеров показывает правомерность указанных представлений о локализации месторождений. Такой подход к анализу закономерностей размещения эндогенных месторождений в земной коре, казалось бы, находится в определенном противоречии с существующими представлениями об особенностях проявления оруденения в геосинклинально-складчатых поясах, платформах и областях тектономагматической активизации, так как рассматривает практически морфоструктуры новейшего времени. Однако вопрос, очевидно, значительно сложнее, так как в настоящее время имеющийся фактический материал свидетельствует об особой роли

РИС. 23.

Принципиальная схема локализации месторождений полезных ископаемых в пределах морфоструктур центрального типа. По В. В. Соловьеву.

1 — рудопроявления; *2* — месторождения. Локализация рудного вещества: *а* — в зоне внешних концентрических блоков, *б* — в каркасных узлах, *в* — в зонах секущих разломов, *г* — в участках структурной интерференции



структур центрального (кольцевого) типа в эволюции структур Земли и планетарном тектогенезе, их сложном долговременном развитии и отчетливо намечающейся связи с глубинными энергогенерирующими центрами нашей планеты. Поэтому сейчас с позиций современных данных следует признать, что, хотя соотношение кольцевых структур с главнейшими тектоническими элементами земной коры еще изучено плохо, полностью отрицать роль морфоструктур центрального типа в локализации оруденения уже нельзя.

По-видимому, одной из задач ближайшего времени является выяснение особенностей взаимоотношений кольцевых, центральных структур со структурами геосинклинально-складчатых зон, платформ и областей тектоно-магматической активизации. Не исключено, что первые (кольцевые) структуры являются только благоприятными для локализации оруденения, они имеют глубинное заложение и развиваются независимо от эволюции структур верхних этажей тектоносферы.

Изучение закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых — это сложная и творческая задача. Решение ее требует всесторонних знаний и умения правильно оценить выявленные закономерности и их значение для обнаружения той или иной промышленной минерализации. По мнению автора, методика металлогенических исследований не может быть унифицирована — в каждом конкретном регионе при решении конкретных задач она может существенно отличаться.

Задача металлогенических региональных исследований в настоящее время прежде всего состоит в том, чтобы выявить

провинциальные особенности металлогении конкретных регионов, понять специфические черты их развития и на этой основе перейти к прогнозу новых рудоносных структур и новых типов месторождений; всесторонне и комплексно подойти к выявлению потенциальных возможностей рудоносных территорий, конкретизировать и локализовать по площади прогнозы. В ряде регионов страны необходимо коренным образом пересмотреть перспективы рудоносности некоторых крупных этапов их развития, а соответственно и геологических формаций, которыми они маркируются.

Особую проблему (к сожалению, еще слабо изученную) представляет изучение рудоносности докембрийских образований, причем не только древних щитов и складчатых областей, а всех более или менее значительных по масштабам площадей, где выходят на поверхность допалеозойские породы. По-прежнему большой практический интерес имеет изучение рудоносности молодых и древних вулканических поясов, причем, по нашему мнению, одна из задач изучения сводится к составлению специальных металлогенических и прогнозных карт этих структур.

Региональные металлогенические исследования в нашей стране вступают в новый этап своего развития. Этот этап прежде всего связан с задачей переосмысливания, а затем и выявления на новой фактической основе более глубоких закономерностей размещения рудных месторождений в конкретных рудных провинциях. Необходимо полнее использовать всю геохимическую и геофизическую информацию, проанализировать материал по глубинному строению Земли. В ряде регионов необходимо отойти от шаблонных схем развития, на основе которых были выявлены первые общие закономерности эволюции рудных процессов. При анализе конкретного нового фактического материала формационный метод должен служить основой для новых обобщений.

По-прежнему остается очень важным вопрос изучения самих месторождений, умелое отнесение их к определенным формациям, выявление диагностических признаков наиболее интересных в промышленном отношении месторождений.

При изучении магматических формаций, по нашему мнению, не снимается с повестки дня вопрос о специализированных интрузиях, перспективных на тот или другой тип рудных месторождений. Выявление критериев рудоносности магматических формаций — важная задача, призванная сыграть большую роль при оценке потенциальной рудоносности новых площадей.

Выше отмечалось, что металлогения — это комплексная наука, опирающаяся на достижения смежных областей знаний. Поэтому при металлогеническом анализе конкретных регионов необходимо учитывать все последние достижения и результаты работ в области тектоники, магматизма, осадконакопления

как конкретной территории, так и в целом по каждому направлению этих наук.

Региональные металлогенические исследования должны идти по линии составления новых металлогенических карт крупных рудных провинций (в масштабе 1 : 1 000 000 или 1 : 500 000), а также по линии изучения металлогении отдельных элементов. Эти работы должны взаимно дополнять друг друга. В первую очередь должны быть составлены карты для еще слабо изученных провинций, общие перспективы которых, однако, весьма высоки. К таким регионам в Советском Союзе относятся Северный и Полярный Урал, Таймыр, Колымский срединный массив, Камчатка и др. Систематическое металлогеническое изучение этих регионов, несомненно, приведет к открытию новых рудных районов и новых месторождений.

Касаясь методики составления металлогенических карт, необходимо отметить несколько общих положений. Прежде всего металлогенические карты в настоящее время должны составляться только на основе анализа новых геологических карт; в процессе составления металлогенических карт должны уточняться вопросы относительного и абсолютного возраста геологических формаций, а их взаимоотношение должно быть подтверждено точно задокументированным геологическим фактом.

Как показывает практика составления металлогенических карт, некоторые исследователи недостаточно внимательно подходят к вопросу выяснения соотношений различных геологических образований, основанных на фактическом материале, подменяя решение этого вопроса субъективными представлениями. Совершенно очевидно, что любое металлогеническое исследование и прежде всего составление металлогенических карт должно базироваться на прочном фактическом материале. Это, казалось бы, совершенно ясное положение, к сожалению, в последние годы нередко забывается, и сейчас можно говорить об опасной тенденции (особенно у молодых геологов), выражающейся в стремлении к широким (если не глобальным!) обобщениям без достаточных обоснований.

Составление металлогенических карт крупных рудных регионов — сложный процесс научного анализа большого фактического материала, требующий умения не только обобщать, но и «добывать» новый фактический материал в целеустремленных полевых маршрутах, точных наблюдениях и документации первичного геологического явления.

Как отмечалось, современные металлогенические карты должны составляться на структурно-формационной основе, когда выявление тех или иных конкретных формаций и их взаимоотношений между собой должно способствовать наиболее объективному тектоническому районированию данной конкретной территории. Металлогенические карты регионов в настоящее время должны сопровождаться серией вспомогательных карт, часть

из которых должна быть выполнена на прозрачных накладках, несущих дополнительную информацию. К ним относятся геохимические, геофизические, гидрохимические, блоковой и разрывной тектоники и иные по содержанию карты, отражающие вспомогательные геологические закономерности, необходимые для выявления главных закономерностей и причин, контролирующих оруденение.

Целесообразно металлогенические карты сопровождать разрезами и блок-диаграммами крупных рудных районов, отражая на них строение земной коры, характерное для площадей с максимальной насыщенностью оруденением. Важнейшая составная и завершающая часть металлогенического анализа — прогноз, т. е. определение площадей, где могут быть открыты новые рудные зоны, районы и месторождения. Этой конечной цели по существу должна быть подчинена вся работа по металлогеническому анализу конкретных регионов, независимо от их размеров.

Важным вопросом, который со всей остротой встает сейчас перед металлогеническими исследованиями и имеет особое значение в связи с требованиями практической геологии, является проблема создания подлинно научных методов количественной оценки прогнозных запасов перспективных рудоносных площадей и отдельных месторождений.

Основными направлениями исследований по этой проблеме, по-видимому, следует считать:

— разработку теории и методов количественной оценки и прогноза месторождений полезных ископаемых, основанных на комплексировании геологических и математических способов исследования роли геологических, геохимических и геофизических факторов, влияющих на масштабы месторождений; дальнейшее совершенствование металлогенического анализа с целью создания научных основ количественного прогнозирования;

— разработку математических методов для создания комплекса алгоритмов и программ, позволяющих осуществлять количественные прогнозы на основе синтеза геологической, геохимической и геофизической информации; разработку теоретических основ применения математических методов для целей количественного прогнозирования;

— совершенствование теории эндогенного рудообразования на основе математической отработки геологических данных с целью выявления факторов образования крупных месторождений различных рудных формаций.

Прошедшее в 1978 г. в Ленинграде совещание по количественной оценке прогнозных запасов минерального сырья при региональных металлогенических исследованиях [160] показало, что единой системы оценки запасов еще не создано, а опыт работ в этом научном направлении еще не обобщен и не систематизирован. Общепринятых методик и принципов количественной

оценки прогнозных запасов рудоносных территорий еще не разработано, хотя применяемые для оценки прогнозных запасов методы условно могут быть объединены в три не равнозначные по значению группы: а) различные модификации метода аналогий, который все еще является основным методом количественной оценки прогнозных запасов рудоносных площадей; б) эмпирические, главным образом геохимические, методы, использующие данные о содержании полезных компонентов в различных геологических образованиях; в) методы корреляции (геохимические, геофизические и др.), наиболее широко применяемые при локальном прогнозировании.

В настоящее время по-прежнему, как и многие годы назад, метод аналогий имеет ведущее значение при прогнозной количественной оценке рудоносных площадей; в особенности это относится к региональному прогнозированию. Однако сегодня в классический и во многом субъективный метод аналогий необходимо ввести новые — логико-информационные, вероятностно-статистические и другие методы, которые на основе точного математического анализа могли бы способствовать выявлению объективных «весов» признаков рудоносных площадей и способствовали бы получению более достоверных количественных оценок прогнозных запасов на новых перспективных рудоносных территориях.

В этом отношении представляют определенный интерес последние работы Р. М. Константинова [169, 215], упорно ищущего новые пути объективной оценки на геолого-математической основе значения рудоконтролирующих факторов и масштабов прогнозируемого оруденения. Задача превращения металлогенического прогноза в точный, количественный прогноз, когда предсказываются не только типы месторождений и условия их проявления, но и масштабы, является в современном металлогеническом анализе одной из наиболее актуальных, при решении которой должны быть использованы все последние достижения геологической науки, осмысленные через призму математического анализа.

Важной задачей металлогенических исследований является разработка новых методик, позволяющих прогнозировать открытие месторождений в пределах локальных площадей, а не только металлогенических зон и районов. Для этого необходимо выявить такие критерии размещения месторождений, которые определяли бы их локализацию не только в региональных структурах, но и позволяли бы «фокусировать» прогноз на площадь не более одного-двух пятидесятитысячных листов, где поисковые работы уже в первый год их проведения могли бы выявлять конкретные признаки оруденения. Такая задача требует, по нашему мнению, усиления научных исследований по изучению металлогении отдельных элементов, т. е. установлению всех особенностей их проявления в пространстве и во времени

в конкретных локальных геологических структурах. Конечно, особенности локализации сходных типов месторождений в различных регионах будут не всегда строго одинаковы, поэтому при конкретном прогнозе необходимо учитывать специфические особенности проявления месторождений в каждой рудной провинции. Опыт металлогенических работ свидетельствует о том, что главные региональные закономерности проявления сходных групп месторождений в различных регионах практически всегда являются одинаковыми, тогда как частные (локальные) особенности проявления месторождений отличаются в большей степени и зависят от конкретных геологических обстановок, в которых формируются месторождения. Однако в каждом отдельно взятом регионе последние очень близки между собой, что по существу и предопределяет возможность разработки научных критериев локального прогноза закономерностей размещения месторождений. Методика локального прогнозирования месторождений полезных ископаемых, прежде всего рудных, должна основываться в настоящее время не только на геологических закономерностях размещения месторождений, но и на использовании автоматизированной обработки геофизических, геохимических и других данных по конкретным рудоносным территориям, что позволит наметить более «тонкие» и объективные критерии прогнозирования.

Одной из важных задач современных металлогенических исследований является выявление закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в пределах типовых структур разных порядков. В первую очередь это относится к структурным элементам земной коры первого ранга (геосинклинально-складчатым областям, платформам, областям активизации), а также различным типам тектонических структур, развитых в их пределах. Если характерные черты металлогении разных типов геосинклинально-складчатых областей, платформ, областей активизации, срединных массивов изучены достаточно полно и получили характеристику в ряде работ, то металлогения более частных структур, прежде всего металлогения типовых структурно-металлогенических зон и районов, возникающих в пределах структур определенного типа (например, геосинклинальных трогов, антиклинориев, жестких рам геосинклинальных прогибов, синеклизах на платформах, наложенных депрессиях в областях активизации и т. д.), получила менее полное освещение. Последнее является результатом недостаточного изучения этих вопросов. Действительно, особенности металлогении таких частных структур познаны не только неполно, но еще не произведена их типизация, не выявлены наиболее специфические черты рудоносности, присущие разным группам сходных структур.

Поэтому в настоящее время перед региональной металлогенией встает задача всестороннего изучения закономерностей

проявления месторождений в типовых структурах, возникающих на различных стадиях эволюции тектонических элементов земной коры первого ранга. Необходимо перейти от изучения металлогении «по вертикали», т. е. от металлогении различных стадий развития во времени, к изучению особенностей металлогении «по горизонтали», т. е. особенностей проявления месторождений в различных типовых структурах, формирующихся одновременно, но на различных площадях, в пределах одной конкретной стадии развития. Опыт анализа металлогенической эволюции крупных структур земной коры «по горизонтали» применительно к геосинклинально-складчатым областям содержится во многих работах В. И. Смирнова [342, 343].

Выше были кратко рассмотрены только некоторые из вопросов региональных металлогенических исследований, которые требуют дальнейшего изучения с целью их приближения к решению прикладных задач на основе использования новых направлений и идей геологической науки.

Региональные металлогенические исследования, по нашему мнению, вступают сейчас в новую фазу своего развития, когда выявление закономерностей размещения месторождений должно осуществляться на основе глубокого структурно-формационного анализа конкретных регионов с учетом новых теоретических представлений о возможном характере эволюции главнейших структурных элементов земной коры. «На вооружение» металлогенического анализа в настоящее время поступают новые методы исследования, в том числе математические, космогеологические, геоморфологические и др., которые еще совсем недавно не использовались при установлении закономерностей размещения месторождений. Это позволяет надеяться на выявление новых закономерностей и более объективный подход к познанию особенностей размещения месторождений в пространстве и во времени. По-видимому, наступает время составления новых вариантов металлогенических карт крупных рудоносных регионов страны на основе обобщения огромного фактического материала, накопленного за последние годы. Составление таких карт потребует, очевидно, и новых способов графического изображения их структурно-формационной основы и всей обширной информации по формационной принадлежности рудных образований и закономерностям их размещения в различных геологических структурах. Такие карты должны содержать в настоящее время конкретный, количественный прогноз на все виды рудного сырья, давая прогнозную оценку рудоносных структур в цифровом выражении. Эти исследования, несомненно, будут способствовать развитию теоретической металлогении и приведут к открытию рудных районов на площадях, которые еще совсем недавно считались неперспективными для выявления месторождений, в особенности новых типов.

Перед региональным металлогеническим анализом в настоящее время стоят новые задачи, в частности: прогноз принципиально новых типов рудных месторождений, неизвестных на анализируемой территории, и выявление комплексных рудных районов, а не только месторождений. В этом, по нашему мнению, заключается одна из особенностей современного этапа прогнозных работ. Эти вопросы приобретают особо важное значение, поэтому рассмотрим их более подробно.

О прогнозе новых типов рудных месторождений. Как показывает практика региональных металлогенических исследований, при прогнозе новых рудоносных площадей и месторождений в большинстве случаев выделяются, как правило, уже известные в данном регионе типы рудоносных структур и рудных образований. К сожалению, значительно реже при металлогеническом анализе конкретных регионов ставится вопрос о выявлении принципиально новых, неизвестных на данной территории типов месторождений, предсказываются возможные закономерности их размещения и на этой основе выделяются наиболее перспективные локальные площади для поисковых работ [533].

В то же время на современном этапе развития региональных металлогенических исследований последняя задача является одной из важнейших наряду с выявлением закономерностей уже известных в данном регионе типов рудных концентраций и составлением прогнозных карт. Задача прогноза новых типов месторождений прежде всего должна решаться путем глубокого всестороннего анализа истории геологического развития конкретного региона, осуществляемого на структурно-формационной основе. Выделение различных геологических формаций, характерных для определенных конкретных структур анализируемого региона, должно сопровождаться изучением характера рудоносности конкретных формаций с учетом известных данных по их геохимической характеристике, а также с использованием материалов по новым типам месторождений в других регионах, связанных со сходными формациями. Такой анализ в конечном счете позволит дать заключение о возможном развитии на данной территории новых типов месторождений, а также позволит предположить закономерности их размещения.

Решение этого вопроса особенно важно для регионов, казалось бы хорошо изученных с металлогенической точки зрения, где возможности открытия «традиционных» для данных регионов месторождений уже ограниченны. К таким регионам, например, относятся Забайкалье, Южный и Северный Урал. Карелия, Кавказ и др.

Надежных «рецептов», позволяющих дать безошибочный прогноз, нет. Многое зависит от знаний и опыта исследователя. Однако многое определяет и умение правильно поставить вопрос, своевременно увидеть возможные перспективы рудоносности той или иной геологической формации.

Развитие представлений о гидротермально-осадочном генезисе некоторых рудных месторождений требует пересмотра перспектив ряда крупных по площади районов в разновозрастных складчатых областях Советского Союза. Это прежде всего относится к возможностям выявления при региональном металлогеническом анализе новых перспективных, потенциально рудоносных территорий в геосинклинальных сланцевых толщах различного возраста, среди которых могут быть выявлены полиметаллические осадочно-гидротермальные месторождения в связи с вулканогенными породами или без них. К таким районам, например, относятся сланцевые толщи Забайкалья и Верхоянья, а также, возможно, Центральной Колымы, Рудного Алтая, Байкальской горной страны и других регионов.

В Советском Союзе еще не открыты, например, стратиформные предположительно осадочно-гидротермальные шеелитовые месторождения, выявленные в последние годы в Альпах и Пиренеях и представленные согласными залежами вкрапленных шеелитовых руд в карбонатных породах и клиноциозитовых гнейсах. Выявление на территории Советского Союза стратиформных месторождений вольфрама и олова — новая задача, решение которой необходимо вести с новых научных позиций, при использовании новых методов поисков месторождений в пределах кварцито-сланцевых толщ, прежде всего в районах развития палеозойских комплексов Средней Азии (возможно, Присамаркандского района), Алтае-Саяна, а также в метаморфических породах докембрийских щитов.

Важные задачи для геологов нашей страны — прогноз и выявление рудных месторождений, приуроченных к углистым сланцам протерозоя. Эта проблема, являющаяся частью сложной проблемы металлогении докембрия, изучена еще крайне недостаточно. Между тем уже в настоящее время можно наметить по крайней мере две крупные задачи:

а) прогноз (естественно, на основе металлогенического анализа конкретных районов развития протерозойских осадочно-метаморфических комплексов) и выявление осадочно-метаморфических месторождений золота (Таймыр, Байкальская горная страна, Енисейский кряж, Кокчетавский и Буреинский срединные массивы и др.);

б) прогноз и открытие осадочно-гидротермальных месторождений типа Маунт-Айза (Австралия) и Сулливан (Канада).

Можно было бы продолжить перечень рудных месторождений, неизвестных в Советском Союзе и открытых за рубежом, которые, однако, в сходных структурно-формационных условиях могут быть выявлены и на территории нашей страны. Например, в связи с открытием в последние годы в восточных районах страны стратиформных свинцово-цинковых месторождений возникает возможность выявления гидротермально-осадочных месторождений первичного смитсонита, открытых недавно в

Марокко [479]. В Южной Африке известны своеобразные пояса графитовых сланцев докембрия с ферберитом, разрабатываемых в Руанде и Уганде. А. Маухером [518] описаны стратиформные гидротермально-осадочные (?) сурьмяно-вольфрамовые месторождения в черных сланцах силура Турции и Австрии.

Перечисленные примеры показывают необходимость всестороннего анализа известных у нас в стране и за рубежом данных о новых типах рудных месторождений, которые необходимо учитывать при региональном металлогеническом анализе конкретных регионов с целью прогноза на их территории новых типов рудных месторождений, неизвестных здесь ранее, но уже открытых в сходных структурно-формационных обстановках в других рудных районах.

Второй путь прогноза новых типов рудных месторождений при региональном металлогеническом анализе связан с изучением наиболее характерных и крупных рудных месторождений конкретного региона с целью выявления их диагностических, отличительных особенностей.

Ранее было показано, что такое изучение наиболее успешно проводится при выявлении и исследовании различных стадий минерализации. Как указывалось, в ряде регионов последовательность проявления различных месторождений совпадает с последовательностью проявления отдельных стадий минерализации, которые, проявляясь самостоятельно, при максимальном развитии приводят к образованию новых крупных рудных концентраций неизвестных ранее для данного региона типов.

Таким образом, изучение, казалось бы, частного генетического вопроса о стадийности минерализации конкретного месторождения может и должно привести к прогнозу новых типов месторождений. Например, в одном из восточных районов страны давно обращала на себя внимание не совсем обычная ассоциация касситеритового оруденения с серебряным; считалось, что данные месторождения экзотичны и нехарактерны для данного региона. Однако впоследствии выяснилось, что серебряная минерализация в этом регионе проявляется самостоятельно в крупных масштабах, а в известном оловянном месторождении фиксировалась только в поздние стадии минерализации. Другой пример: известно, что во многих золоторудных месторождениях, для части которых устанавливается их связь с малыми догранитными («добатолитовыми») интрузиями на поздних стадиях рудного процесса, проявляется антимонитовая минерализация, она накладывается на золотое оруденение (Западное Забайкалье, Восточная Якутия, Колыма и др.). По мнению В. И. Бергера, при максимальном и самостоятельном проявлении эта поздняя стадия минерализации приводит к образованию крупных месторождений сурьмы. Этот вывод заставляет по-иному подходить к оценке перспектив на сурьмяное оруденение золоторудных районов с добатолитовыми место-

рождениями и, в частности, высказать предположение, что Западное Забайкалье в пределах Зачикойской горной страны перспективно для открытия сурьмяных месторождений.

При анализе общих особенностей развития рудных процессов в земной коре автором [456] были приведены обобщенные схемы последовательного проявления стадий минерализации, которые можно частично использовать для целей регионального металлогенического прогноза. Как было показано, в процессе образования рудных месторождений устанавливается определенная (сходная) последовательность в отложении минералов в пределах одной стадии минерализации и проявлении самих стадий и месторождений; иными словами, устанавливаются сходство и одинаковая направленность рудных процессов трех разных масштабов. Эти особенности рудных процессов можно условно выразить в виде следующих схематических рядов последовательности отложения главных минералов (стадий минерализации, месторождений).

МОЛИБДЕНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

вольфрамит + молибденит + галенит, сфалерит, халькопирит + халцедоновидный кварц, флюорит, антимонит, киноварь

ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

шеелит + молибденит (золото) + золото, галенит, сфалерит, халькопирит ± халцедоновидный кварц, антимонит, киноварь (?)

ОЛОВЯННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

вольфрамит + касситерит + галенит, сфалерит, халькопирит + халцедоновидный кварц, флюорит, антимонит, киноварь

ВОЛЬФРАМОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

молибденит + вольфрамит + галенит, сфалерит, халькопирит (золото) + халцедоновидный кварц, флюорит, антимонит, киноварь

ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

шеелит + галенит, сфалерит, халькопирит (золото) + киноварь, антимонит

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ)

флюорит + золото + антимонит + ферберит, шеелит + киноварь

Установление таких рядов для разных групп месторождений имеет практическое значение: оно позволяет предполагать вы-

явление еще неизвестных (иногда наиболее продуктивных) стадий минерализации, а также предугадывать возможность открытия в уже выявленных рудных районах новых месторождений неизвестных здесь ранее металлов (например, в районах с флюоритовым оруденением предполагать открытие эпитермальных месторождений золота и вольфрама и соответственно с этим проводить поисковые работы). Таким образом, обязательное сравнительное изучение рудных месторождений, которое, как отмечалось выше, необходимо проводить при региональном металлогеническом анализе, имеет целью не только решение вопроса об отнесении конкретных месторождений к той или иной рудной формации, но и необходимо для целей регионального металлогенического прогноза.

В настоящее время задача прогноза новых типов месторождений, неизвестных для данного конкретного региона, является одной из важнейших при региональном металлогеническом анализе наряду с прогнозом уже открытых и изученных типов рудных концентраций.

В этом вопросе важную роль должны играть региональная геохимия и изучение металлогении и геохимии отдельных элементов. Следует выявлять устойчивые геохимические связи рудных элементов на конкретном фактическом материале, определять возможности проявления тех или иных элементов в промышленных концентрациях, время и условия этого процесса. Это особенно важно для «экзотических» рудных ассоциаций, известных в некоторых регионах, таких, как вольфрам и ртуть, серебро и бериллий, кобальт и олово и др. Познание особенностей таких геохимических связей, выявление масштабности этих явлений, определение площадей развития таких ассоциаций на основе общих геохимических закономерностей, несомненно, должны способствовать совершенствованию прогноза новых типов рудных месторождений при региональном металлогеническом анализе.

В нашей стране, несмотря на открытие в последние годы значительных по масштабам рудных месторождений, представители новых типов занимают весьма скромное место. К ним, пожалуй, в первую очередь следует отнести два объекта. Эта стратиформное свинцово-цинковое месторождение в протерозойских породах Прибайкалья, которое в разряд «новых типов» отнесено только благодаря своей однозначно устанавливаемой связи с метаморфическими комплексами докембрия. Последнее обстоятельство имеет важное значение, так как означает выявление в нашей стране действительно докембрийских полиметаллических месторождений, имеющих, как известно, за рубежом большое промышленное значение.

Вторым месторождением является своеобразное тунгстенит-киноварное месторождение Тамватней на Чукотке, приуроченное к лиственитам контактовой зоны гипербазитового массива.

Подобного типа месторождения вольфрама прогнозировались на территории советского сектора Тихоокеанского рудного пояса (ТРП) нами ранее; при этом подчеркивалось, что их открытие — новая и достаточно сложная задача, которую, как показало время, успешно решили геологи Северо-Восточного производственного геологического объединения. Выявление тунгстенит-киноварного месторождения в пределах внутренней зоны ТРП на территории Советского Союза, по-видимому, знаменует начало новых открытий сложных по составу комплексных вольфрамовых месторождений с ртутью, медью, серебром, флюоритом, которые известны в других районах ТРП (Япония, Перу, Боливия).

Открытие в нашей стране указанных месторождений имеет принципиальное значение, так как реально показывает, с одной стороны, необходимость детального изучения рудоносности докембрийских образований с целью поисков крупных месторождений свинца и цинка, а с другой, подтверждает необходимость более тщательного изучения районов внутренней зоны ТРП (Камчатка, Корякия) с задачей выявления комплексных («телескопированных») месторождений с экзотическими минеральными ассоциациями (вольфрамит+шеелит+халькопирит+ +касситерит + галенит+сфалерит+киноварь+флюорит + барит).

Известно, что в последние годы значительное внимание уделяется рудоносности вулканических поясов. В этой связи в первую очередь целесообразно остановиться на новых типах рудных месторождений, которые выявлены в пределах вулканических поясов восточного сегмента Тихоокеанского рудного пояса. Среди таких месторождений наибольший интерес представляют золоторудные и серебряные. К своеобразным уникальным месторождениям первой группы относятся месторождения типа Карлин, природа которых долгое время была для советских исследователей недостаточно ясной. По последним данным американских геологов [529], месторождения типа Карлин образованы из рудоносных низкотемпературных растворов, связанных с позднетретичным вулканизмом.

Золотоносные термы поднимались по зонам тектонических нарушений и в условиях благоприятной вмещающей среды формировали сложные по конфигурации рудные тела, которые представлены отходящими от разломов стратиформными залежами размером 300×100 м и мощностью 15—20 м.

Наиболее благоприятными для рудоотложения являются тонкослоистые илисто-углистые доломитовые известняки, возраст которых датируется от кембрия до девона. Силикатные осадочные и грубослоистые карбонатные породы неблагоприятны для оруденения. Месторождения типа Карлин характеризуются тонкодисперсным золотом и высокой концентрацией мышьяка, сурьмы и ртути.

Первичная руда представляет собой темно-серую тонкослоистую углистую карбонатную породу, импрегнированную тонкодисперсным кварцем и незначительным количеством пирита; она практически не отличается от неминерализованных пород.

Золото, так же как и другие гидротермальные минералы, имеет размеры в несколько микрон. Оно встречается в рудах в трех формах: с углистым материалом в виде золотоорганических соединений, реже самородного золота на поверхности зерен пирита и очень редко в виде рассеянного золота в кварце и в глинистых минералах.

Важно отметить, что вмещающие карбонатные породы содержат до 0,5% органического углерода, при этом активированный аморфный углерод адсорбирует золотые и ртутные комплексы, а смесь высокомолекулярных тяжелых углеводородов и трудноопределяемая органическая кислота образуют золотоорганические соединения.

Особенностью месторождений типа Карлин являются тесная геохимическая связь золота с ртутью, мышьяком и сурьмой и отрицательная корреляция между золотом, с одной стороны, и барием, медью, свинцом, цинком, молибденом, вольфрамом — с другой.

Другая интересная группа рудных месторождений нового типа объединяет крупные месторождения бедных серебряных руд, открытых и разведанных в Северной Америке за последние пятнадцать лет [553].

Эти месторождения, подчас значительно различающиеся между собой, характеризуются рядом общих особенностей, из которых следующие для многих являются общими: молодой третичный возраст оруденения; приуроченность серебряной минерализации к осадочным отложениям в ассоциации с вулканическими породами: туфами, пеплами и туфовыми сланцами; рассеянный характер минерализации, часто вкрапленного типа; предполагаемый в ряде случаев осадочно-гидротермальный характер образования руд в связи с вулканическими процессами; невысокие содержания серебра при больших масштабах оруденения. Все это позволяет относить месторождения в одну группу. Прототипом их считается месторождение Ватерлоо в Калифорнии [553]. Оно представлено сереброносными озерными отложениями миоценового возраста, которые в основании разреза содержат тонкораспыленное и «захваченное» кремнеземом серебро совместно с баритом и пиритом. После отложений рудоносных осадков месторождение было брекчировано, и часть серебра в виде кераргирита (AgCl) и эмболита [Ag(ClBr)] было перемещено в открытые трещины. Значительная часть серебряной минерализации на месторождении Ватерлоо заключено в окварцованных обломках гравитационных брекчий, где представлена тонкорассеянным серебром или коллоидно-дисперсным серебросодержащим пиритом.

Генезис месторождения недостаточно ясен: возможно предположить осадочно-гидротермальное происхождение оруденения, когда металлоносные растворы по зонам разломов поступали в крупные озерные бассейны и принимали участие в образовании осадков; с другой стороны, можно допустить, что серебро-кремнезем-баритовые растворы горизонтально просачивались в неуплотненные озерные осадки вдоль зон тектонических нарушений, к которым приурочены небольшие штоки андезитового, дацитового и риолитового составов.

Руды месторождения Ватерлоо содержат серебра 62,2—93,3 г/т. Запасы составляют более 25 млн. т руды. Рудные залежи на всех месторождениях имеют стратиформный характер и представляют экономический интерес только при их отработке открытым способом.

В Мексике недавно открыто месторождение Реаль-Анхелес, которое представляет собой оруденелые верхнемеловые песчаники и алевролиты, содержащие в виде вкрапленников серебросодержащий галенит, сфалерит, халькопирит и тетраэдрит. На месторождении среди осадочных пород встречаются небольшие рудные прожилки и иногда жилы. Рудная залежь имеет пластовый характер размером 300×300 м; содержание металла в рудах: 77,7 г/т серебра, 1% Pb, 1% Zn. Предполагается, что месторождение имеет осадочно-гидротермальный генезис.

В Неваде (США) открыты значительные концентрации серебряных руд в туфовых сланцах формации Канделария (юра — триас), где оруденение встречается в виде вкрапленности и согласных прожилков. На месторождении Крид (Колорадо) серебряная минерализация приурочена к толще верхнеолигоценовых туфов, речных и озерных отложений и травертиновым конусам и во многом напоминает месторождение Ватерлоо.

В группу месторождений «бедных серебряных руд» относятся также некоторые рудные концентрации, возникающие в третичных и мезозойских вулканических породах, представленных риолитовыми и андезитовыми потоками и их брекчиями. Примером таких месторождений является Деламар в штате Айдахо и Раунд-Маунтин в штате Колорадо (США). На месторождении Деламар главным минералом является науманнит (Ag_2Se), который приурочен к оруденелым окварцованным риолитовым туфам миоценового возраста и жилам. На месторождении Раунд-Маунтин серебряная минерализация обнаружена в олигоценовых риолитах и их брекчиях и тесно ассоциируется с окислами марганца, флюоритом и баритом. Среднее содержание серебра 62—93 г/т.

Месторождения, упомянутые выше, расширяют наши представления о природе концентраций серебра, их генетических особенностях и частично минеральном составе. В сущности в настоящее время можно уже достаточно уверенно говорить о

вулканогенно-осадочном, гидротермально-осадочном типах месторождений серебра, изучение которых может привести к открытию крупных промышленных объектов.

Среди других рудных месторождений новых типов заметное место занимают стратиформные вольфрамовые месторождения. Недавно такие шеелитовые месторождения были открыты в метаморфических породах в Пиренеях и на юге Центрально-Французского массива, а также в Австрии. На юге Франции выявлены своеобразные марганцево-вольфрамовые месторождения в известняках лейаса, в которых карстовые полости заполнены марганцевыми окислами, содержащими 0,58—2,72% трехокиси вольфрама.

Большой интерес представляет выявление в Боливии стратиформных месторождений олова в кварцитах силура, в которых касситерит образует промышленные скопления. Устанавливаются пять слоев кварцитов общей мощностью 40 м, прослеживаемых более чем на 1 км, при среднем содержании олова в них около 1%. В настоящее время предполагается, что известные гидротермальные месторождения Боливии представляют собой регенерированные в третичное время рудные образования, источником металлов для которых служили кварцито-сланцевые толщи силура. Касситерит в оловоносных кварцитах сопровождается турмалином и изобильными пиритом и гематитом.

Не ставя перед собой задачу охарактеризовать все новые типы рудных месторождений, выявленные в последние годы, что является сложной задачей, требующей специальных исследований, мы попытались на приведенных выше примерах показать, что фонд новых типов месторождений еще далеко не исчерпан. А это значит, что каждый геолог, ведущий поисковые работы или занимающийся вопросами прогнозирования, обязан творчески подходить к оценке конкретных регионов и площадей, ставя перед собой задачу внимательного изучения всего комплекса развитых на данной территории рудопроявлений, всегда имея в виду как возможность выявления новых типов месторождений, так и возможность переоценки старых, ранее открытых месторождений, прежде всего с иных технико-экономических позиций. Последнее в первую очередь связано с тем, что технический прогресс в горной промышленности, современное погрузочное и транспортное оборудование, выпускаемое отечественным машиностроением, позволяют вести добычу минерального сырья открытым способом, перерабатывая огромное количество горной массы. Это, в свою очередь, обусловливает возможность вовлечения в экономичную разработку крупных месторождений бедных руд и сопровождающих их месторождений-сателлитов. Опыт нашей страны показывает, что за открытой разработкой таких месторождений большое будущее.

Известно, что в США, например, при технико-экономических расчетах рентабельности освоения крупных месторождений бедных руд, пригодных для открытой разработки, оценивают сначала запасы руды, которые должны быть около 40 млн. т при суточной производительности карьера 10 тыс. т, а затем уже определяют содержание полезного ископаемого из расчета получения от предприятия 15—20% прибыли. Такой подход к оценке рудных месторождений, возможно, будет способствовать выявлению новых их типов, позволит определить наиболее экономичные для разработки группы рудных объектов, внесет определенные коррективы в старые традиционные представления о промышленных их типах. Поэтому вопрос о новых типах рудных месторождений может рассматриваться в различных аспектах, из которых кроме геологического технико-экономический является очень важным. Общая тенденция развития современной рудной геологии связана с открытием крупных месторождений с невысокими содержаниями полезных ископаемых, но пригодных для разработки открытым способом, и выявлением новых видов сырья. Первое обстоятельство во многом определяется научно-техническим прогрессом в области горнодобывающей техники.

Приведенные выше примеры открытия новых типов месторождений, сделанные за рубежом, имели главной своей целью привлечь внимание читателя к группе месторождений, связанных в первую очередь с вулканическими поясами. Имеются основания полагать, что месторождения типа Карлин могут быть открыты на территории нашей страны прежде всего в пределах Охотско-Чукотского и Приморского вулканических поясов, а также в Кураминской вулканической зоне Средней Азии в районах, где развиты карбонатные породы. При этом важное поисковое значение приобретает выявление аномалий, где золото сопровождается ореолами ртути, сурьмы и мышьяка. Что касается месторождений бедных серебряных руд, в особенности осадочно-гидротермального генезиса в озерных отложениях и туфовых сланцах, то возможность их открытия не исключена в соответствующих геологических обстановках в ряде регионов страны, но, по-видимому, прежде всего в пределах Камчатского и Охотско-Чукотского вулканических поясов. Для определения направлений поисковых работ на этот новый тип месторождений необходимы специальные тематические исследования, которые должны дать глубокий анализ геологических условий проявления подобных месторождений с учетом возможной унаследованности и регенерации оруденения от древних эпох минерализации к более молодым.

Однако геолог-поисковик уже сейчас должен учитывать возможность открытия месторождений, условно называемых собирательным термином «крупные месторождения бедных серебряных руд».

В заключение следует остановиться на важном вопросе о возможностях прогнозирования новых типов рудных месторождений, вообще неизвестных ранее. Эта задача до настоящего времени решается плохо, она практически не заинтересовала научные коллективы, а поэтому в полной мере научных основ прогноза новых типов месторождений еще не создано. По-видимому, настало время вплотную заняться этой проблемой и, не отбрасывая прежних достижений металлогенической науки и прогнозирования, начать разработку прежде всего геохимических методов прогноза новых типов рудных концентраций, основанных в первую очередь на анализе нестандартных парагенезисов рудных элементов в различных геологических обстановках.

Несомненно, что только один геохимический метод, без учета всех особенностей геологического развития регионов, выявляемых при формационно-тектоническом подходе к изучению геологических образований, не приведет к положительным результатам. Основой успешного решения вопроса, по-видимому, является комплексный анализ геохимических аномалий в пределах конкретных геологических формаций с учетом специфических особенностей их рудоносности и всей геологической истории развития регионов.

Имеющийся фактический материал показывает, что новые типы рудных месторождений в ряде случаев возникают на пересечении рудных (металлогенических) зон разных типов и возраста или в районах с развитием месторождений, формирующихся в несколько этапов и стадий минерализации. По-видимому, бóльшее значение, чем это имеет место в настоящее время, в недалеком будущем будут иметь осадочно-гидротермальные месторождения стратиформного типа с рассеянной минерализацией, среди которых практическое значение могут иметь месторождения вольфрама, олова [533], молибдена, редких земель и золота. Такая постановка вопроса требует всестороннего изучения специалистами-рудниками металлогении и геохимии осадочных формаций, установления истинной природы рудных концентраций в осадочных и метаморфических комплексах. Особое значение в этом плане приобретает исследование континентальных осадочных и вулканических толщ, их взаимосвязей с рудоносными разломами в период минералообразования.

Говоря о прогнозе принципиально новых типов месторождений, нельзя не отметить, что отечественная рудная геология знает блистательные примеры таких прогнозов. К их числу, например, относятся прогноз и открытие в 30-е годы академиком С. С. Смирновым крупных промышленных месторождений сульфидно-касситеритовой формации, в то время совершенно нового типа рудных образований, которые в настоящее время составляют основу оловодобывающей промышленности.

Прогноз и выявление новых типов рудных месторождений представляют собою сложную и комплексную задачу; она охватывает ряд нерешенных научных проблем и вопросов, успешное изучение которых возможно только при совместных усилиях научно-исследовательских и производственных организаций, осуществляющих прогнозирование и поисковые работы прежде всего на основе обобщения данных геохимических съемок. Эта задача выдвигается также всем ходом научно-технического прогресса, неразрывно связана с рациональным, более эффективным использованием недр и в полной мере отвечает особенностям развития народного хозяйства страны, созданию крупных территориальных производственных комплексов.

О проблеме рудных районов. В геологической науке и практике понятие «рудный район» имеет достаточно определенное значение [310, 359, 436]. Обычно под рудным районом понимается относительно небольшая по площади рудоносная территория, в пределах которой локализуются рудные месторождения, сходные по геологическим условиям проявления и генетическим особенностям. Рудные районы, как правило, являются составной частью более крупных рудоносных структур (провинций, областей, зон) и разделены между собой безрудными или слабоминерализованными площадями [436].

Рудный район — понятие, рожденное практикой геологоразведочного дела и введенное в «обиход» горняков и геологов многие века назад. Пожалуй, Г. Агрикола [7] первый наиболее четко показал значение рудных районов как центров развития горнорудной промышленности. Значительно позднее К. И. Богданович [56] в известном труде «Рудные месторождения» отметил особую роль рудных районов для изучения месторождений. В дальнейшем С. С. Смирнов [359] в специальной работе рассмотрел вопрос об оловорудных районах и наметил критерии их оценки.

В 50-е годы прежде всего трудами Е. А. Радкевич [310] и Е. Т. Шаталова [433, 434] были заложены основы металлогении рудных районов как самостоятельной ветви учения о закономерностях размещения месторождений в локальных структурах.

Сейчас понятие «рудный район» — одно из наиболее широко используемых в геологической практике, причем почти все исследователи вкладывают в него одинаковый смысл. Оно имеет не только геологический смысл, это скорее комплексное геолого-географическое и одновременно горно-экономическое понятие, характеризующее перспективную рудоносную площадь среднего масштаба, в пределах которой уже существуют или могут быть созданы промышленные горнорудные предприятия.

В настоящее время, когда научно-техническая революция охватила все отрасли народного хозяйства страны и ставит перед геологией новые и сложные задачи, когда при проведении

геологоразведочных работ необходимо учитывать последние достижения науки и техники, проблема выявления и создания новых рудных районов приобретает особое значение и новый смысл.

Вопрос заключается не только в выявлении новых рудных районов на основе более точных геологических прогнозов, что, безусловно, крайне важно и сложно. Проблема состоит в следующем: используя новейшие достижения геологической науки и практики, открывать в наиболее благоприятных для освоения географо-экономических условиях новые рудные районы, на базе которых могут быть созданы крупные, оснащенные передовой горнодобывающей и обогатительной техникой, горнорудные комплексы, работающие стабильно и высокорентабельно. При этом стоит задача создания для работающих на этих предприятиях и для геологоразведчиков, продолжающих изучение рудных районов, современных благоустроенных городов и поселков городского типа, в связи с чем рассматриваемая проблема приобретает важное социальное значение.

Проблема рудных районов, проблема открытия и освоения группы рудных месторождений в пределах единой в географо-экономическом отношении относительно локальной рудоносной площади, имеет несколько аспектов: геологический, технический, экономический и социальный.

Геологические аспекты этой проблемы связаны прежде всего с совершенствованием точности научного прогноза, позволяющего наметить на основании геологических признаков наиболее благоприятные площади для поисков тех или иных рудных месторождений, дать количественную прогнозную оценку запасам в недрах, перейти от общих заключений о перспективности той или иной территории к точной оценке прогнозных запасов в цифрах на основе учета конкретных факторов рудоносности перспективных территорий.

Задача выявления новых рудных районов — комплексных с различными типами месторождений или с месторождениями сходных типов и одного металла — позволяет концентрировать усилия научных и производственных организаций, в ускоренные сроки проверять научные прогнозы, своевременно вносить коррективы в направление поисковых работ. Имеющийся опыт показывает, что в большинстве случаев такой союз геологической науки и практики приносит реальный успех и в конечном счете приводит к открытию месторождений.

Прогноз новых рудных районов требует совершенства металлогенических исследований, решения ряда общих вопросов локальной и региональной металлогении и, в частности, ставит вопрос о необходимости уточнения критериев выделения типовых металлогенических зон, установления надежных факторов, влияющих на размещение рудных месторождений в их пределах. Такая постановка вопроса связана прежде всего с тем,

что в ряде регионов крупные комплексные рудные районы выявлены в последние годы на сочленении или пересечении различных металлогенических зон. При этом становится все более очевидной роль фундамента в локализации оруденения, что требует особого внимания к изучению вопросов его влияния как на характер оруденения, так и на особенности структурной локализации последнего.

В плане открытия новых рудных районов возникает очень важная задача установления надежных геофизических критериев, характеризующих типовые рудные блоки (районы) земной коры и их тектоносферу. Рудная геофизика должна «перешагнуть» масштабы отдельных зон, рудных тел и даже месторождений, по-новому подойти к оценке и выявлению геофизических характеристик рудных районов с тем, чтобы эти данные могли служить основой для выявления перспективных рудоносных площадей. Наконец, ставя задачу выявления новых рудных районов, необходимо комплексно подходить к оценке всех полезных ископаемых, имеющихся в данном районе, правильно дать прогнозную оценку всем видам минерального сырья на данной территории, обратить особое внимание на возможность одновременного использования месторождений различных полезных ископаемых. Эта же задача требует более тщательного и более быстрого изучения месторождений новых типов, вовлечения в оценку на всех стадиях геологоразведочных работ новых видов сырья, что приведет к более рациональному и комплексному использованию минеральных ресурсов. Очевидно, целесообразно создать прогнозную карту рудных районов страны с учетом всего комплекса геологических, экономических и социальных факторов, определяющих перспективы прогнозируемых рудных районов, и отразить на ней последовательность развития геологоразведочных работ, их характер и масштабы.

Технические аспекты рассматриваемой проблемы (названные нами так условно) охватывают широкий круг вопросов, связанных с созданием современных горнорудных предприятий, оснащенных новейшей техникой. Здесь важно подчеркнуть, что для нескольких месторождений одного рудного района в ряде случаев возможна организация крупных горно-обогатительных комплексов с центральными районными обогатительными фабриками, проектируемыми с учетом новейших технологических схем обогащения и извлечения полезных компонентов. В крупных рудных районах возможна организация на месте и металлургического производства.

Создание крупных горнорудных районов позволит резко улучшить организацию труда как геологоразведочных, так и горных работ, шире использовать в горнорудной промышленности механизированные комплексы, а в ряде случаев перейти на полную механизацию и автоматизацию всего процесса до-

бычи и переработки полезных ископаемых, применяя при этом дистанционные методы управления. Все это отразится не только на технико-экономических показателях работы горнорудных предприятий и обеспечит резкое увеличение производительности труда, но и позволит вывести из подземных работ рабочих и инженеров, создаст более благоприятные условия их труда.

Экономические аспекты проблемы рудных районов охватывают комплекс взаимосвязанных вопросов, которые решают задачу наиболее рентабельной эксплуатации месторождений и получения наиболее дешевого минерального сырья. Эти вопросы довольно разноплановые, они охватывают практически все стороны проблемы рудных районов. При геологических исследованиях экономические аспекты проблемы связаны прежде всего с концентрацией сил и средств на решении важнейших вопросов направления поисковых и разведочных работ в наиболее перспективных районах, рациональном объединении усилий научно-исследовательских и производственных организаций, умелом применении комплекса геофизических и геохимических методов при поисках и быстрой оценке промышленных параметров с затратой минимальных средств при разведке выявленных месторождений.

Освоение крупного рудного района позволяет решать наиболее эффективно экономически все вопросы, связанные с созданием крупных горно-обогатительных и металлургических комплексов.

Социальные аспекты рассматриваемой проблемы состоят в том, что при освоении крупных рудных районов возможно создание наиболее благоприятных условий для жизни трудящихся (строительство городов и благоустроенных поселков городского типа с больницами, школами, кинотеатрами, телевизионными центрами и т. д.). В современных условиях развития нашего общества такой подход к «организации жизни» горняков и геологов имеет очень важное значение, он способствует закреплению высококвалифицированных рабочих кадров в горнорудной промышленности и геологической службе.

Социальные аспекты проблемы рудных районов неразрывно связаны с воплощением в жизнь главной задачи экономической политики нашей Коммунистической партии — существенным повышением благосостояния трудящихся и наиболее полным удовлетворением материальных и культурных потребностей.

Сложная комплексная проблема рудных районов, по мнению автора, в настоящее время выдвигается перед геологической службой в одну из важнейших всем ходом развития научно-технической революции нашего времени. Она отражает как бы «реакцию» теоретической и практической геологии на новые требования экономического развития нашего общества. Общеизвестно, что в последние годы в геологию, значительно влияя на ее развитие, активно проникают новейшие достижения фи-

зики, химии, математики и других наук. В свою очередь, научно-техническая революция, происходящая в горном деле, технологии обогащения минерального сырья и металлургии, наряду с новыми социально-экономическими требованиями развития промышленности оказывает постепенное влияние на геологию, выдвигая новые требования по созданию крупных рудных районов. Объективность этого процесса подтверждает следующее: в настоящее время крупные и крупнейшие месторождения (рудные районы) содержат в среднем 65% разведанных запасов, при этом в крупных рудных районах сосредоточено 95% запасов меди, 77% свинца, 90% молибдена и вольфрама, 90% никеля.

Иными словами, перед геологической службой ставится в настоящее время задача перехода от выявления отдельных крупных месторождений к открытию новых крупных рудных районов. Эта сложная задача требует усилий научных и производственных организаций, срочного решения ряда новых вопросов и, в частности, разработки научных основ прогноза рудных районов, методов количественной оценки прогнозных запасов рудного района в целом и отдельных рудных полей и месторождений, совершенствования методики прогноза рудных районов на основе применения математических методов, создания подлинно научных методов разведки месторождений с применением минимального числа дорогостоящих горных выработок, разработки новых технологических схем обогащения различных видов минерального сырья и т. д.

В самом общем виде рудные районы, исходя из поставленных задач, по характеру минерального сырья и масштабам месторождений могут быть подразделены на четыре группы:

а) с месторождениями одного полезного ископаемого (однометальные);

б) с месторождениями различных полезных ископаемых (комплексные);

в) представленные крупными (и очень крупными) месторождениями;

г) представленные несколькими месторождениями, в ряде случаев средними по масштабам с одним крупным и окружающими его более мелкими месторождениями-сателлитами.

Очевидно, возможны и другие сочетания в пределах рудного района месторождений, различных по составу и масштабам.

Задачи выявления и освоения новых рудных районов, особенно комплексных, тесно сочетаются с вопросами рационального наиболее полного использования минерального сырья. Это относится в первую очередь к возможностям эффективного вовлечения в эксплуатацию крупных месторождений с низкими содержаниями полезного компонента и рентабельной разработке месторождений-сателлитов, как правило сопровождающих главные месторождения рудного района. Кроме того, при оценке нового рудного района встают более остро вопросы возмож-

ного выявления новых типов месторождений, вопросы всесторонней оценки всего комплекса известных на данной территории полезных ископаемых.

Проблема рудных районов многогранна. Она тесно связана с развитием производительных сил и поэтому имеет большое народнохозяйственное значение. Оценка минеральных ресурсов страны с позиции рудных районов (а не отдельных месторождений) тесно соприкасается с решением крупных экономических вопросов, с задачами планирования и развития высокорентабельных горнопромышленных комплексов; такой подход должен повысить эффективность геологоразведочных работ и способствовать их лучшей организации.

Вместе с тем задачи выявления новых рудных районов и их быстрейшей технико-экономической оценки требуют иного подхода к организации и проведению геологоразведочных работ на местах, новых принципов оценки рудоносных территорий и месторождений и подсчета запасов в недрах. Эти вопросы — предмет специального рассмотрения и анализа; они должны служить задачей специальных научных исследований.

В настоящее время достаточно очевидно, что проблема рудных районов неразрывно связана с задачами, поставленными перед геологией всем ходом современного научно-технического прогресса. Эта проблема, выдвигая специфические задачи перед геологической наукой и практикой, находится на стыке нескольких направлений и, объединяя геологические, горнотехнические, экономические и социальные вопросы, превращается в комплексную крупную народнохозяйственную проблему, основу которой составляют открытие и оценка новых минерально-сырьевых ресурсов. Поэтому в настоящее время для геологической службы страны выявление рудных районов в благоприятных для освоения природно-экономических условиях — одна из важнейших задач. Металлогенический анализ конкретных регионов призван способствовать ее успешному решению.

Региональные металлогенические исследования в нашей стране давно стали неотъемлемой частью геологических работ. Их общественная полезность доказана открытиями новых рудных провинций и крупных рудных районов. Однако решение новых задач по созданию в стране надежной минерально-сырьевой базы требует и нового подхода к металлогеническому анализу, к выявлению таких закономерностей размещения месторождений, которые могли бы служить верным компасом для направления поисковых работ и решения практических задач, связанных с выявлением месторождений в наиболее сжатые сроки с наименьшими затратами средств. Сущность этого подхода должна заключаться прежде всего в комплексном анализе особенностей развития конкретных регионов с учетом всей новейшей геологической, геохимической, геофизической и иной информации, на основе учения о геологических формациях и

современных представлений о тектоническом районировании конкретных регионов; при этом особое внимание должно уделяться изучению рудных месторождений с выявлением диагностических признаков промышленных формаций.

В задачу современного металлогенического анализа должен входить прогноз новых крупных рудных районов с количественной оценкой их сырьевых ресурсов, а также обязательный прогноз принципиально новых типов рудных месторождений, еще неизвестных в данных рудоносных регионах. Последнее особенно важно для «старых», казалось бы, хорошо изученных рудных провинций (Карелия, Восточное Забайкалье, Приморье, Закавказье).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованиями советских ученых заложены прочные основы новой отрасли геологических знаний, изучающей закономерности формирования рудных месторождений в земной коре. В настоящее время это научное направление оформилось в самостоятельную науку с общепризнанным названием «металлогения». Как особая ветвь геологического цикла наук о Земле металлогения решает поставленные перед ней задачи с помощью комплекса определенных методов или металлогенического анализа, главная цель которого — выявление закономерностей размещения и геологических условий образования месторождений полезных ископаемых в связи с историей развития различных структурных элементов земной коры.

Современная металлогения — сложная комплексная наука, синтезирующая последние достижения многих направлений геологических знаний. Ее зарождение связано с развитием советской геологической школы, становлением и эволюцией различных ветвей отечественной геологии. Возникновение металлогении как науки и ее быстрое развитие были обусловлены в первую очередь запросами практической геологии, необходимостью обеспечить в кратчайшие сроки народное хозяйство нашей страны всеми видами минерального сырья.

За последние три десятилетия советская металлогения превратилась в самостоятельную науку, которая сегодня уже имеет несколько научных направлений, решающих самостоятельные задачи своими собственными методами. В их число входят: а — глобальная или планетарная металлогения, б — региональная металлогения, в — металлогения рудных районов, д — специальная металлогения или металлогения отдельных элементов. Каждое из этих направлений неразрывно связано друг с другом комплексом вопросов. Пожалуй, региональная металлогения имеет в настоящее время наибольшие достижения, тогда как другие направления находятся или в стадии становления (планетарная металлогения) или, наоборот, после определенного размаха работ как бы законсервировались, перестали развиваться по новым путям (металлогения рудных районов).

Методологической основой металлогении служит диалекти-

ческий анализ конкретных геологических явлений, рассматривающий геологические процессы и прежде всего процессы, приводящие к образованию месторождений, в тесной взаимосвязи с другими геологическими явлениями, представляющими собой разные стороны единого и сложного процесса геологического развития нашей планеты.

Одним из важных и наиболее объективных методов металлогенического анализа является структурно-формационный метод исследования конкретных геологических образований. Этот метод приобретает в настоящее время при решении металлогенических задач особое значение, так как позволяет наиболее достоверно проводить классификацию геологических образований и устанавливать их принадлежность к определенным геологическим формациям.

Важная роль формационного анализа при выявлении закономерностей размещения и возникновения месторождений полезных ископаемых в настоящее время очевидна, однако отдельные аспекты этой проблемы разработаны еще недостаточно. К ним, в частности, относятся вопросы формационного анализа рудных месторождений, выбора методов объективного подхода к установлению надежных критериев месторождений промышленных рудных формаций и др. Дальнейшее развитие формационного изучения рудных образований — важный путь совершенствования металлогенического анализа.

Особенностью современной металлогении является ее тесная связь с решением практических задач, выяснением перспектив конкретных территорий. Достигнуты определенные успехи, свидетельствующие о том, что выявленные закономерности размещения полезных ископаемых в крупных геологических структурах и отдельных регионах могут служить основой для выбора наиболее эффективных направлений поисковых работ. В этом заключается одна из важных прикладных особенностей металлогении как науки.

В настоящее время установлены основные особенности проявления месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени, выделены основные металлогенические провинции и эпохи и определено их значение для главных рудных формаций и типов месторождений.

Одной из важных закономерностей проявления рудных месторождений в земной коре является региональная металлогеническая зональность, заключающаяся в том, что преобладающее количество известных рудных месторождений сосредоточено в крупных линейных рудоносных структурах или рудных поясах. Эта закономерность по масштабам и значению сопоставима с геологическим законом.

Для выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в конкретных регионах и геологических структурах необходимо использование геохимической и

геофизической информации, а также установление характера эрозионного среза для перспективной оценки рудоносных территорий. Если анализ геофизических данных для целей металлогенического анализа и прогноза прочно вошел в практику металлогенических исследований, то материалы по региональной геохимии и эрозионному срезу учитываются все еще недостаточно.

Важное значение при металлогеническом анализе имеет специальное сравнительное изучение рудных месторождений с целью выявления диагностических признаков сходных по минеральному составу месторождений, принадлежащих к разным рудным формациям.

На современном этапе металлогенических работ встают задачи количественной оценки региональных прогнозов, привлечения математических методов обработки геологической информации для целей прогнозной оценки наиболее перспективных площадей. В этом направлении сделано еще слишком мало, хотя определенные успехи в последние годы достигнуты в использовании ЭВМ для обработки геохимической и геофизической информации.

Применение металлогенического анализа для районирования и классификации рудоносных территорий позволило выделить ряд характерных для определенных тектонических структур земной коры структурно-металлогенических (металлогенических) зон и рудоносных структур иных категорий. При этом удалось наметить одну из важных общих закономерностей в проявлении оруденения в земной коре: в пределах более крупных рудоносных площадей (провинциях, планетарных металлогенических поясах) проявляется более разнообразная, более сложная и комплексная минерализация, представленная сложными сериями различных по своей формационной принадлежности месторождений, тогда как в пределах рудоносных площадей меньшего ранга (металлогенических и рудных зонах, районах и узлах) намечается более четкая специализация в проявлении оруденения с развитием в их пределах месторождений двух, реже трех и, наконец, одной рудной формации. В этом выражается четкая тенденция в специализации оруденения в зависимости от масштаба рудоносных площадей.

В последние годы работами советских исследователей подробно охарактеризованы особенности проявления месторождений полезных ископаемых в пределах разных типов металлогенических зон и выявлены локальные закономерности образования рудных месторождений разных формаций в их пределах. Установлена локализация «экзотических» по минеральному составу и геохимическим особенностям месторождений в районах пересечения металлогенических зон разных типов, где возможно прогнозирование новых месторождений еще неизвестных групп (формаций).

Все это обеспечило прогресс наших знаний в области металлогении главных структурных элементов земной коры, способствовало формированию современных представлений о закономерностях размещения месторождений в геосинклинально-складчатых областях, платформах, областях тектоно-магматической активизации и срединных массивах. Сделаны первые шаги в изучении металлогении дна морей и океанов.

Среди геосинклинально-складчатых областей выделено несколько металлогенических типов, резко различных по набору месторождений, формирующихся в связи с их развитием. Охарактеризована металлогения отдельных тектонических зон геосинклиналей. Установлено, что нет тождественных по характеру геологического и металлогенического развития геосинклинально-складчатых областей; каждая конкретная складчатая область имеет свои специфические провинциальные особенности, выявление которых особенно важно для целей металлогенического анализа конкретных регионов. Для локализации месторождений в геосинклинально-складчатых областях большое значение имеют крупные, поперечные к общему простиранию складчатости разрывные нарушения, а также блоковые структуры.

Интересным объектом предстоящих металлогенических исследований являются активизированные рамы геосинклинальных областей; здесь как особый вопрос возникает задача познания металлогении континентальных наложенных вулканических поясов с установлением времени и природы образования этих структур. Важное металлогеническое значение имеют краевые рудоносные разломы (швы) на стыке геосинклинальных зон и их жестких рам.

В настоящее время считается, что доорогенная металлогения активно проявляется только при эвгеосинклинальном режиме и отсутствует в миогеосинклиналях. Однако правомерность этого положения требует особого анализа и должна быть существенно уточнена.

Металлогения платформ познана менее полно, однако и здесь выделено несколько металлогенических типов этих структур, для которых установлены главные типы месторождений и закономерности их проявления.

В последние годы в нашей стране получили развитие представления об областях тектоно-магматической активизации и их металлогении. Было показано, что эти структуры формируются независимо от развития геосинклинальных прогибов и характеризуются специфическими металлогеническими особенностями. Изучение этих структур расширило представления об особенностях проявления эндогенных месторождений в негеосинклинальных подвижных зонах земной коры и привело к пересмотру перспектив ряда крупных регионов, которые еще совсем недавно считались безрудными. Установлены металлогенические

типы областей тектоно-магматической активизации и намечены основные закономерности проявления месторождений в их пределах.

Впервые получила освещение металлогения срединных массивов. Она характеризуется признаками, свойственными металлогении платформ, геосинклинально-складчатых зон и областей тектоно-магматической активизации.

Для главных структурных элементов земной коры выделены ведущие типы металлогенических зон и рудных формаций.

Развитие металлогенических исследований у нас в стране сопровождается значительными по значению теоретическими обобщениями по закономерностям проявления месторождений полезных ископаемых в земной коре, условиям их образования, источникам рудного вещества и т. д. Металлогенический анализ вышел за рамки геосинклинально-складчатых областей и платформ, охватив ныне срединные массивы и континентальные подвижные пояса или области тектоно-магматической активизации, а также шельфовые зоны и дно океанов.

В последние годы известны многочисленные попытки решить проблемы металлогении с помощью идей новой глобальной тектоники, которые, однако, не могут служить в настоящее время прочной основой современного металлогенического анализа.

Перед региональной металлогенией в настоящее время стоят большие и сложные задачи. В теоретическом плане они связаны с разработкой на основе нового фактического материала современных основ научного прогноза рудных месторождений в главных структурных элементах земной коры, на базе выявления основных закономерностей размещения промышленных рудных концентраций в пространстве и во времени и всестороннего анализа этих закономерностей с привлечением новейших научных представлений как о развитии земной коры в целом, так и отдельных ее регионов, а также всех современных данных в области смежных геологических дисциплин. Исследования в этом направлении должны способствовать прогрессу наших знаний об эволюции рудных процессов в ходе развития Земли и разработке общей теории рудообразования.

Прикладной аспект проблемы заключается в выявлении новых перспективных рудоносных площадей с крупными месторождениями, прогнозе масштабов месторождений и предполагаемых запасов в рудных провинциях, зонах и районах. Для этой цели необходимо использовать точные математические методы, перейти от метода аналогий к количественной оценке факторов, контролирующих локализацию и проявление оруденения, определяя на математической основе параметры месторождений. Одной из важных остается задача локализации прогноза, более точного определения контуров перспективных площадей с характеристикой необходимых поисковых и разведочных работ для выявления и оценки месторождений. Решению

этих задач в определенной степени должна способствовать настоящая работа.

Автор надеется, что публикация данной работы, несмотря на некоторые спорные положения, будет способствовать выявлению новых рудных районов и месторождений и будет полезна, особенно для молодых исследователей, начинающих поиски полезных ископаемых уже на основе анализа научных предпосылок и установленных закономерностей, а не с проспекторских позиций.

1. *Абдуллаев Х. М.* Генетическая связь оруденения с интрузиями. Ташкент, Изд-во АН УзбССР, 1950, 244 с.

2. *Абдуллаев Х. М.* Опыт классификации рудно-петрографических провинций. — Узбекский геологический журнал, 1959, № 4, с. 3—16.

3. *Абдуллаев Х. М., Борисов О. М.* Об особенностях развития срединных массивов. — Советская геология, 1963, № 8, с. 17—26

4. *Абрамович И. И., Дуденко Л. Н., Михайлов Ю. И.* Математизация геологии и металлогенический прогноз.— Труды ВСЕГЕИ, 1972, т. 178, с. 103—122.

5. *Абрамович И. И., Смыслов А. А.* Некоторые вопросы радиологии в связи с металлогеническими исследованиями. — Труды ВСЕГЕИ, 1963, т. 95, с. 4—13.

6. *Аверин Ю. А., Габелко А. Б., Королев В. А., Шехтман П. А.* О количественном прогнозировании эндогенного оруденения. — Геология рудных месторождений, 1967, № 3, с. 111—113.

7. *Агрикола Г.* О месторождениях и рудниках в старое и новое время. М., Недра, 1972. 80 с.

8. *Андреев Б. А.* Структурно-металлогенические зоны и гравитационные аномалии. — Докл. АН СССР, 1958, т. 121, № 6, с. 1063—1064.

9. *Андреев Б. А.* О геологических и геофизических особенностях районов сводовых поднятий. — Труды ВСЕГЕИ, 1963, т. 85, с. 101—107.

10. *Андреев Б. А.* Геофизические методы в региональной структурной геологии. М., Недра, 1965. 324 с.

11. *Андреев Б. А.* Основные структурные элементы фундамента восточных районов СССР. — Докл. АН СССР, 1966, т. 170, № 2, с. 402—405.

12. *Аносов П. П.* Геогностические наблюдения над уральскими горами, лежащими в округе златоустовских заводов. — Горный журнал, 1826, № 5, с. 3—30.

13. *Апрелков С. Е., Жегалов Ю. В.* О вулканических поясах Камчатки. — Геотектоника, 1972, № 2, с. 102—109.

14. *Апрелков С. Е., Ежов Б. В., Харченко Ю. И.* Вулкано-тектонические структуры и оруденение Центральной Камчатки. — Геология рудных месторождений, 1977, № 3, с. 82—89.

15. *Архангельская В. В., Вольфсон Ф. И.* Геотектонические позиции и систематика стратиформных свинцово-цинковых месторождений. М., Наука, 1977. 274 с.

16. *Барсуков В. Л.* Основные черты геохимии олова. М., Наука, 1974. 150 с.

17. *Басков Е. М.* Палеогидрогеологический анализ при металлогенических исследованиях. Л., Недра, 1976. 200 с.

18. *Баторев К. Б.* Кибернетика и метод аналогий. М., Высшая школа, 1974, с. 57—62.

19. *Безруков П. Л., Петелин В. П., Скорняков Н. С.* Минеральные ресурсы океана. — В кн.: Тихий океан. М., Наука, 1970, т. 6, с. 322—339.

20. *Бекжанов Г. Р., Колмогоров Ю. А., Цареградский В. А.* Связь эндогенных рудных месторождений Казахстана с глубинными разломами, интрузивным магматизмом и строением земной коры. — В кн.: Геотектоническое районирование Казахстана по геофизическим данным. М., Недра, 1969, с. 478—491.

21. *Белевцев Я. Н.* К вопросу об источниках рудообразующих веществ эндогенных месторождений. — Советская геология, 1972, № 11, с. 38—49.

22. *Белевцев Я. Н., Каляев Г. И.* Зоны активизации Украинского щита и связь с ними оруденения. — В кн.: Металлогения областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973, с. 119—120.

23. *Белов И. В.* Трахибазальтовая формация Прибайкалья. М., Изд-во АН СССР, 1963. 371 с.

24. *Белонин М. Д., Иванова К. П., Наливкин В. Д.* и др. Математические методы анализа при изучении закономерностей формирования и размещения углеводородных скоплений. М., ВИЭМС, 1974. 52 с.

25. *Белоусов В. В.* Основные вопросы геотектоники. М., Госгеолтехиздат, 1954. 606 с.

26. *Белоусов В. В.* Земная кора и верхняя мантия материков. М., Наука, 1966. 124 с.

27. *Белоусов В. В.* О строении и развитии тектоносферы материков. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. VIII. М., Наука, 1967, с. 5—39.

28. *Белоусов В. В.* Тектоносфера Земли: идеи и действительность. — В кн.: Проблемы глобальной тектоники. М., Наука, 1973, с. 60—69.

29. *Белоусов В. В.* Геотектоника. Изд-во Мос. Гос. университета, 1976. 334 с.

30. *Беляевский Н. А.* Земная кора в пределах территории СССР. М., Недра, 1974. 280 с.

31. *Бергер В. И., Иициксон М. И.* Основные черты металлогении северо-восточной части Тихоокеанского пояса. — Советская геология, 1972, № 1, с. 90—106.

32. *Бескровный Н. С.* Нефтяные битумы и углеводородные газы как спутники гидротермальной деятельности. Л., Недра, 1967. 208 с.

33. *Бескровный Н. С., Левицкий Ю. Ф., Щеглов А. Д.* Включения нефти, керитов и рассолов во флюоритах хребта Кох-и-Маран (Западный Пакистан). — Докл. АН СССР, 1971, т. 201, № 1, с. 187—200.

34. *Бетехтин А. Г.* О генетических типах марганцевых месторождений.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1944, № 4, с. 3—46.

35. *Бетехтин А. Г.* Промышленные марганцевые руды СССР. М., Изд-во АН СССР, 1946. 315 с.

36. *Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадлун Т. Н.* Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958. 436 с.

37. *Беус А. А.* Принципы геохимической оценки потенциальной рудоносности магматических комплексов. — В кн.: Вопросы прикладной геохимии, вып. 1. М., Недра, 1966, с. 21—65.

38. *Беус А. А.* Геохимия литосферы. М., Недра, 1972. 296 с.

39. *Беус А. А., Григорян С. В.* Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1975. 280 с.

40. *Билибин Ю. А.* К вопросу о локализации месторождений золота. Избр. труды, т. III. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 135—149.

41. *Билибин Ю. А.* Локализация золотоносности в связи с тектоникой Северо-Востока. — Проблемы советской геологии, 1937, т. 7, № 5—6, с. 410—428.

42. *Билибин Ю. А.* О некоторых чертах металлогении золота. — Зап. Всесоюзн. минерал. о-ва, 1947, № 1, с. 77—91.

43. *Билибин Ю. А.* Общие принципы металлогенических исследований. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 5, с. 95—112.

44. *Билибин Ю.А.* Вопросы металлогенической эволюции геосинклинальных зон. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1948, № 4, с. 51—66.

45. *Билибин Ю. А.* Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955. 88 с.

46. *Билибин Ю. А.* Работы С. С. Смирнова в области металлогении. Избр. труды, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 395—402.

47. *Билибин Ю. А.* Общие вопросы металлогении золота. Избр. труды, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 238—339.

48. *Билибин Ю. А.* К истории Колымских приисков. Избр. труды, т. III. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 195—207.

49. *Билибин Ю. А.* Общие принципы регионального металлогенического

анализа. Избр. труды, т. III. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 16—60.

50. *Билибина Т. В.* К геологии и металлогении Алданского щита. — В кн.: Вопросы генезиса и закономерностей размещения эндогенных месторождений. М., Наука, 1966, с. 233—256.

51. *Билибина Т. В.* Основные черты металлогении щитов и областей их активизации. — Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 191, с. 41—61.

52. *Билибина Т. В., Казанский В. И., Кратц К. О.* Рудные формации и рудоносные структуры раннего докембрия. — Геология рудных месторождений, 1976, № 4, с. 3—10.

53. *Богацкий В. В.* Вертикальная амплитуда эндогенного оруденения и оценка региональных перспектив. — Труды СНИИГИМС, вып. 102, Красноярск, 1970. 164 с.

54. *Богацкий В. В.* Волновой характер распределения эндогенного оруденения в вертикальной плоскости и прогнозная оценка его перспектив. — В кн.: Локальное прогнозирование рудных районов Востока СССР. М., Наука, 1972, с. 195—205.

55. *Богданов А. А., Муратов М. В., Хаин В. Е.* Об основных структурных элементах земной коры. — Бюлл. МОИП, 1963, № 3, с. 3—32.

56. *Богданович К. И.* Рудные месторождения. Спб., 1912, т. I, 475 с.

57. *Боголепов К. В.* О двух типах орогенеза. — Геология и геофизика, 1968, № 8, с. 15—26.

58. *Боровиков Л. И., Бурков Ю. К.* Корреляционный анализ закономерностей в распределении малых элементов для решения проблемы седиментогенеза. — Труды XXIII сессии МГК. Докл. сов. геол. М., Недра, 1968, 157 с.

59. *Боровко Н. Н.* Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. Л., Недра, 1971. 78 с.

60. *Боровко Н. Н.* Количественный анализ полевых критериев крупных эндогенных рудных месторождений. М., ВИЭМС, 1973. 54 с.

61. *Боровко Н. Н., Мишин Л. Т., Латикайнен В. И.* Количественные методы прогнозирования оловорудных месторождений Дальнего Востока. М., ВИЭМС, 1973. 68 с.

62. *Бородаевская М. Б., Ширай Е. П., Кривцов А. И.* О характере и формах связи колчеданного оруденения с магматизмом геосинклиналей. — В кн.: Магматизм и полезные ископаемые. М., Наука, 1975, с. 58—71.

63. *Валеев Р. Н., Солнцов Л. Ф.* и др. Основные принципы минералогического анализа платформенных областей. Экспресс-информация. ВИЭМС, М., 1974, вып. 1; информация I, 52 с.

64. *Великий А. С.* Структуры рудных полей. М., Изд-во ЛГУ, 1961. 276 с.

65. *Великославинский Д. А., Соколов Ю. М., Глебовицкий В. А.* Проблемы металлогении докембрия. — В кн.: Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. Л., Наука, 1970, с. 234—237.

66. *Величко Е. А., Кузнецов Ю. Я., Левин Л. Э.* и др. Основные результаты и тенденции развития работ по освоению минеральных ресурсов Мирового океана. — В кн.: Минеральные ресурсы Мирового океана. Л., Недра, 1974, с. 14—59. (Труды Н.-и. лабор. геологии заруб. стран, № 22).

67. *Вернадский В. И.* Об использовании химических элементов в России (1916). Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 411—419.

68. *Вернадский В. И.* Биосфера. Избр. труды по биогеохимии. М., Изд-во Мысль, 1967. 273 с.

69. *Войткевич Г. В., Лебедько Г. И.* Полезные ископаемые и металлогения докембрия. М., Недра, 1975, 232 с.

70. *Волочкович К. Л.* Металлогенический анализ с позиций концепций новой глобальной тектоники и геосинклинального развития. — Геология рудных месторождений, 1978, № 5, с. 89—98.

71. *Вольфсон Ф. И.* Развитие учения о рудных месторождениях в СССР. М., Наука, 1969. 324 с.

72. *Воронов П. С.* Дрейф континентов: за и против. Л., 1968. 32 с.

73. *Вострокнутов Г. А., Гавриш А. И.* Использование методов математической статистики при анализе и обобщении геохимических данных. М., ВИЭМС, 1972. 38 с.

74. *Высоцкий Б. П.* Проблемы истории и методологии геологических наук. М., Недра, 1977. 280 с.

75. *Геодинамика* и полезные ископаемые. М., 1976. 248 с.

76. *Геологические* формации докайнозойского чехла Сибирской платформы и их рудоносность. — Труды ВСЕГЕИ, 1974, т. 194. 280 с.

77. *Геологические* формации и металлогения Алданского щита. — Труды ВСЕГЕИ, 1976, т. 276. 340 с.

78. *Геологическое* изучение Земли из космоса. М., Наука, Труды ГИН, 1978, вып. 317. 228 с.

79. *Геология* и генезис ртутных месторождений Алтае-Саянской области. — Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, вып. 363, 1978, Новосибирск. 296 с.

80. *Геология* и металлогения щитов древних платформ. Гл. редактор А. В. Сидоренко. Л., Недра, 1976. 340 с.

81. *Геология* оловорудных месторождений Восточной Киргизии. М., Недра, 1977. 192 с.

82. *Геотектоническое* районирование Казахстана по геофизическим данным М., Недра, 1969. 510 с.

83. *Геофизические* поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1970. 610 с.

84. *Геофизические* методы при тектоническом и прогнозно-металлогеническом районировании рудных регионов СССР. Л., Недра, 1971. 264 с.

85. *Глобальные* закономерности размещения крупных рудных месторождений. Колл. авторов, М., Недра, 1974. 184 с.

86. *Глубинное* строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов. Владивосток, 1976. 518 с.

87. *Глуховский М. З.* Кольцевые структуры юго-востока Сибири и их возможная природа. — Геотектоника, № 4, 1978, с. 50—64.

88. *Гогель Ж.* Основы тектоники. М., Изд-во Мир, 1969. 440 с.

89. *Головин И. В.* Использование региональных геофизических данных для прогнозирования зон с эндогенным оруденением на Балтийском щите. Автореф. канд диссерт. на соиск. учен. степени канд. геол.-минерал. наук. Л., 1970. 16 с.

90. *Гольдшмидт В. И., Колмогоров Ю. А.* Использование результатов региональных геофизических съемок при прогнозно-металлогенических исследованиях. — В кн.: Геофизические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1970, с. 90—101.

91. *Горжевский Д. И.* О некоторых особенностях размещения поясов оловорудных и свинцово-цинковых месторождений. — Геология рудных месторождений, 1959, № 3, с. 74—80.

92. *Горжевский Д. И.* О металлогеническом значении рудных формаций. — Геология рудных месторождений, 1964, № 6, с. 54—65.

93. *Горжевский Д. И.* Свинцово-цинковые рудные формации Алтая и Забайкалья и их геотектоническая позиция. — В кн.: Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М., Наука, 1966, с. 156—162.

94. *Горжевский Д. И., Козеренко В. Н.* О закономерностях размещения полиметаллических и редкометальных зон и поясов. — Геол. сборник Львовского геол. об-ва, 1956, № 2, с. 36—61.

95. *Горжевский Д. И., Козеренко В. Н.* Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. М., Недра, 1965. 300 с.

96. *Горжевский Д. И., Микунов М. Ф., Филатов Е. И.* Металлогеническое значение срединных массивов на примере свинцово-цинковых провинций. — В кн.: Тектоника срединных массивов. М., 1974, с. 26—48.

97. *Григорьян С. В.* Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — Советская геология, 1973, № 1, с. 15—33.

98. *Григорьян С. В., Янишевский Е. М.* Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., Недра, 1968. 204 с.

99. *Грушевой В. Г., Ильин К. Б., Старицкий Ю. Г.* Металлогеническая карта СССР. — Советская геология, 1974, № 10, с. 16—25.

100. *Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П.* Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений. — Геология и геофизика, 1968, № 5, с. 17—19.

101. *Димитров Р.* По некоторым вопросам распределения эндогенной минерализации в Восточно-Родопском блоке. Acta Geologia Academiae Scientiarum Hungaricae, 1970, т. 14, p. 143—149.

102. *Добрецов Н. Л., Соболев В. С., Хлестов В. В.* Принципы выделения и классификации регионально-мета-

морфических формаций. — Геология и геофизика, 1969, № 3, с. 3—16.

103. *Домарев В. С.* Некоторые особенности металлогении докембрия. — В кн.: Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. Л., Наука, 1970, с. 238—258.

104. *Домарев В. С.* Роль метаморфизма в размещении рудных месторождений. — Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 191, с. 137—151.

105. *Доорогенная* металлогения эвгеосинклиналей. — Тезисы докл. VIII Всес. металлог. совещ. Свердловск, 1976. 212 с.

106. *Доорогенная* металлогения эвгеосинклиналей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., Наука, 1978, т. XII, с. 242.

107. *Дуденко Л. Н.* Некоторые результаты применения теоретико-игрового подхода к оценке никеленосности основных и ультраосновных интрузий. Матер. I научн. конфер. аспирантов-геологов Ленинграда. Л., ВСЕГЕИ, 1970.

108. *Дуденко Л. Н.* Вопросы математического обеспечения металлогенических исследований. — В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., ВСЕГЕИ, 1974, с. 145—147.

109. *Желамков В. А., Столпнер М. Н.* Проведение геофизических работ при изучении металлогении рудных районов. Л., ВИРГ, 1972, с. 148.

110. *Зак И. С., Богачев А. И., Хазов Р. А.* и др. Взаимосвязь металлогении и глубинного строения Карело-Кольского региона. — Геология рудных месторождений, 1977, № 6, с. 100—103.

111. *Закономерности* размещения бокситовых месторождений СССР. М., Наука, 1978. 256 с.

112. *Закономерности* размещения полезных ископаемых. М., Наука, 1958, т. I, 532 с.; 1959, т. II, 504 с.; 1960, т. III, 652 с.; 1960, т. IV, 354 с.; 1962, т. V, 632 с.; 1962, т. VI, 638 с.; 1964, т. VII, 476 с.; 1967, т. VIII, 424 с.; 1970, т. IX, 348 с.; 1973, т. X, 392 с.; 1975, т. XI, 368 с.; 1978, т. XII, с. 236.

113. *Закономерности* формирования и металлогения активизированных зон Алтае-Саянской области. — Труды ВСЕГЕИ, т. 207, 1975. 107 с.

114. *Захаров Е. Е.* Опыт металлогенического районирования Европы. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., Наука, т. 1, 1959, с. 92—121.

115. *Захаров Е. Е.* О некоторых вопросах классификации рудных месторождений — Советская геология, 1965, № 9, с. 15—32.

116. *Зональность* гидротермальных месторождений. М., Наука, 1971, т. I, 296 с.; т. II, 220 с.

117. *Зоненшайн Л. П.* Учение о геосинклиналях и его приложение к центрально-Азиатскому складчатому поясу. М., Недра, 1972. 240 с.

118. *Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Моралев В. М.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М., Недра, 1976. 232 с.

119. *Ибн-Сина.* Даниш-Намэ. Душанбе, 1957. 286 с.

120. *Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф.* Геология галогенных отложений (формаций) СССР. М., Госгеолтехиздат, 1960. 424 с.

121. *Иванова А. А.* Флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья. М., Недра, 1974. 207 с.

122. *Иванов В. В.* О геохимических исследованиях в СССР и задачах дальнейшего изучения геохимии рудных месторождений. — В кн.: Геохимия и геология некоторых рудных месторождений. М., Наука, 1970, с. 6—36.

123. *Иванов В. В., Мейтув Г. М.* Геолого-геохимические исследования рудных провинций. М., Недра, 1972. 288 с.

124. *Иванов С. С.* Западная Европа — область современной активизации верхней мантии. — В кн.: Новейшие движения, вулканизм и землетрясения материков и дна океанов. М., Наука, 1969, с. 87—89.

125. *Изучение* закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов. М., Недра, 1965. 303 с./ Р. М. Константинов, В. А. Жариков, Б. И. Омельяненко, Н. В. Петровская, Е. Т. Шаталов.

126. *Ильин К. Б.* Региональная металлогения СССР. М., Недра, 1974. 238 с.

127. *Источники* рудного вещества эндогенных месторождений. (Тезисы докладов, АН СССР). М., 1974. 68 с.

128. *Иксон Г. В.* Связь между характером геодинамических напряжений и металлогенической специа-

лизацией рудоносных структур. — В кн.: Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы. Л., ВСЕГЕИ, 1969, с. 32—36.

129. *Иликсон М. И.* Типы подвижных поясов Тихоокеанской окраины СССР. — Советская геология, 1964, № 1, с. 10—38.

130. *Иликсон М. И.* Геохимические и металлогенические особенности подвижных поясов Тихоокеанской окраины СССР. — Советская геология, 1964, № 11, с. 18—35.

131. *Иликсон М. И.* Новые аспекты металлогении подвижных поясов восточно-азиатского типа в связи с особенностями глубинного строения Тихоокеанской окраины СССР.— Советская геология, 1966, № 1, с. 6—23.

132. *Иликсон М. И.* Геологические и геохимические типы оловорудных формаций подвижных поясов и областей тектоно-магматической активизации. — Советская геология, 1967, № 11, с. 92—103.

133. *Иликсон М. И.* Связь металлогенических провинций с вулканогенными поясами, крупными геотектоническими элементами и типами земной коры. — В кн.: Проблемы региональной металлогении. — Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 191, с. 102—120.

134. *Иликсон М. И.* Металлогенические системы Тихоокеанского сегмента Земли. — Геология рудных месторождений, 1974, № 2, с. 10—28.

135. *Иликсон М. И.* Металлогения планетарных вулканогенных поясов Тихоокеанского сегмента Земли. — В кн.: Эволюция вулканизма в истории Земли. М., 1974, с. 360—368.

136. *Иликсон М. И., Тихомиров Н. И., Шаталов Е. Т.* Основные черты магматизма и связанной с ними минерализации северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., 1967, т. VIII, с. 177—195.

137. *Йовчев И.* Основы геологии и полезные ископаемые территории НР Болгарии. София, 1965, 109 с. с картами.

138. *Казанли Д. Н.* Геофизические данные при анализе металлогении и построении прогнозов в Казахстане. Материалы научной сессии. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1958, с. 242—268.

139. *Казанли Д. Н., Попов А. А., Антоненко А. Н.* Глубинное сейсмическое зондирование в Центральном Казахстане. — Вестник АН КазССР, 1959, № 4, с. 26—36.

140. *Казанский В. И.* Структурные условия локализации постмагматического оруденения на активизированных платформах. — В кн.: Эндогенные рудные месторождения. М., Наука, 1968, с. 278—279. (Междунар. геол. конгресс, XXIII сессия. Докл. сов. геологов. Проблема 7.)

141. *Казанский В. И.* Новые структуры земной коры. — Природа, 1965, № 9, с. 51—58.

142. *Казанский В. И.* Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. М., Недра, 1972. 240 с.

143. *Казанский В. И., Терентьев В. М.* Пограничные зоны активизированных платформ и их металлогения. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1968, № 4, с. 3—19.

144. *Казанский В. И., Лаверов Н. П., Туганинов А. И.* Эволюция уранового рудообразования. 1978, М., Атомиздат, 1978. 208 с.

145. *Канищев А. Д., Менакер Г. И.* Химическое строение земной коры Центрального и Восточного Забайкалья. — Геохимия, 1971, № 1, с. 3—18.

146. *Канищев А. Д.* Применение теории вероятностей для решения некоторых задач металлогении. Чита, 1976. 36 с.

147. *Канищев А. Д.* Главные факторы геохимических ассоциаций и вертикальной зональности эндогенных рудных месторождений. — Геология рудных месторождений, 1977, № 6, с. 80—99.

148. *Канищев А. Д.* Опыт применения информационных методов при металлогеническом анализе Забайкалья. — В кн.: Математические методы при прогнозе рудоносности. М., Наука, 1977, с. 216—227.

149. *Канищев А. Д., Менакер Г. И.* Количественная оценка информативности схем металлогенического районирования Центрального и Восточного Забайкалья. — Геология рудных месторождений, 1973, № 6, с. 95—99.

150. *Карасик М. А., Порошин Э. С.* О значении глубинных геофизических исследований для познания закономерностей размещения ртутного ору-

денения. — АН УССР, Геофиз. сборник, № 58, 1974, с. 82—89.

151. *Карпова Е. Д.* Сводово-глыбовые области и их металлогения. — Труды ВСЕГЕИ, 1968, т. 155, с. 223—250.

152. *Карпова Е. Д.* Металлогения областей тектоно-магматической активизации. — В кн.: Проблемы региональной металлогении. — Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 194, с. 62—101.

153. *Князев Г. И.* Замкнутые и фрагментарные рудные пояса. Киев, Наукова думка, 1973. 256 с.

154. *Ковалев А. А.* Тектоника плит и некоторые аспекты металлогенического анализа. — Геология рудных месторождений, 1972, № 5, с. 90—96.

155. *Ковалев А. А.* Проблемы мобилистской геотектоники и металлогении. М., ВИЭМС, 1973. 44 с.

156. *Ковалев А. А.* Новая глобальная тектоника и металлогения. — В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., ВСЕГЕИ, 1973, с. 4—10.

157. *Ковалев А. А., Денисова Г. И.* Проблемы металлогении и новой глобальной тектоники на Международном геологическом конгрессе в Австралии (1976). Экспресс-информация ВИЭМС, 1977, М., № 4, с. 1—23.

158. *Ковалев А. А., Корякин Ю. В.* Эволюция земной коры Зайсанской складчатой системы с позиций тектоники плит и некоторые вопросы металлогении. — В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., ВСЕГЕИ, 1974, с. 81—85.

159. *Козеренко В. Н.* Главные особенности эндогенной металлогении и зон активизации земной коры. — В кн.: Эндогенные рудные месторождения. М., Наука, 1968, с. 251—258. (Междунар. геол. конгресс, XXIII сессия. Докл. сов. геологов. Проблема 7.)

160. *Количественная* оценка прогнозных запасов и перспективных ресурсов минерального сырья при региональных металлогенических исследованиях. Тезисы докладов Всесоюзного семинара. Л., 1978. 176 с.

161. *Константинов Р. М.* Изучение эндогенных рудных месторождений различных рудных формаций при крупномасштабных металлогенических исследованиях. — В кн.: Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов. М., Недра, 1965, с. 7—118.

162. *Константинов Р. М.* Статистическое обоснование связей металлогенических факторов. — Советская геология, 1969, № 2, с. 119—124.

163. *Константинов Р. М.* Формационный анализ эндогенных рудных месторождений при металлогенических исследованиях. — В кн.: Металлогенический анализ. М., Недра, 1972, с. 142—201.

164. *Константинов Р. М.* Математические методы обработки геологической информации при металлогенических исследованиях. — В кн.: Металлогенический анализ. М., Недра, 1972, с. 208—268.

165. *Константинов Р. М.* Основы формационного анализа гидротермальных рудных месторождений. М., Наука, 1973. 216 с.

166. *Константинов Р. М.* Математические методы прогнозной оценки месторождений. — В кн.: Математические методы в геологии. Серия Общая геология, 1977, т. 8. М., ВИНИТИ. 132 с.

167. *Константинов Р. М., Бунич А. Л.* Простые методы подсчета корреляции минерального состава рудных месторождений. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1967, № 7.

168. *Константинов Р. М., Дмитриев А. Н.* Использование математических методов анализа геологических факторов, влияющих на масштабы оруденения (на примере месторождений касситерит-сульфидной формации). — Геология рудных месторождений, 1970, № 2, с. 56—64.

169. *Константинов Р. М., Королева З. Е., Кудрявцева В. Б.* О комбинаторно-логическом подходе к задачам прогноза рудоносности. — В кн.: Проблемы кибернетики, М., 1976, с. 5—33.

170. *Константинов Р. М., Кристальный Б. В., Минеева И. Т., Свечинская Е. И., Устинова З. С.* Математические методы в геологии рудных месторождений. — В кн.: Общая геология: математические методы в геологии. М., ВИНИТИ, 1970. 64 с.

171. *Константинов Р. М., Макеева И. Т.* Рудные формации в современных металлогенических исследованиях. М., ВИНИТИ, 1972. 110 с.

172. *Константинов Р. М., Сиротинская С. В.* Логико-информационные

исследования эндогенных рудных формаций и вариационные ряды рудных месторождений. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования. М., Наука, 1974, с. 68—81.

173. *Константинов Р. М., Щеглов А. Д.* Математика и металлогения. — В кн.: Математические методы при прогнозе рудоносности. М., Наука, 1977, с. 5—16.

174. *Конычев М. И.* Геология морских полезных ископаемых. — В кн.: Техника геологоразведочных работ, 1968. Итоги науки и техники. М., ВИНИТИ АН СССР, 1969, с. 8—12.

175. *Корешков И. В.* Области сводового поднятия и особенности их развития. М., Госгеолтехиздат, 1960. 176 с.

176. *Кормилицын В. С.* Рудные формации и процессы рудообразования (на примере Забайкалья). Л., Недра, 1973. 328 с.

177. *Кормилицын В. С., Строна П. А.* Мезозойские рудные формации Забайкалья. — В кн.: Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых. Л., Изд. ЛГИ, 1971, с. 30—40.

178. *Кормилицын В. С., Строна П. А., Татаринов П. М.* Общие принципы систематики эндогенных месторождений на формационной основе.— Труды ВСЕГЕИ, 1973, нов. серия, т. 191, с. 186—205.

179. *Королев В. А., Шехтман П. А.* Принципы количественного прогнозирования при металлогенических исследованиях. — В кн.: Основные проблемы металлогении Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1970, с. 189—201.

180. *Косыгин Ю. А.* Тектоника. М., Недра, 1969. 616 с.

181. *Красный Л. И.* Проблемы тектонической систематики. М., Недра, 1977. 176 с.

182. *Крейтер В. М.* Структуры рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1958. 272 с.

183. *Критерии* прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления. Киев, Изд-во Наукова думка, 1975. 560 с.

184. *Кропоткин П. Н.* «Неомобилизм» и региональная геотектоника.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1961, № 6, с. 112—116.

185. *Кропоткин П. Н.* Динамика земной коры. — В кн.: Проблемы глобальной тектоники. М., Наука, 1973, с. 27—59.

186. *Кузнецов В. А.* Алтае-Саянская металлогеническая провинция и некоторые вопросы металлогении полицикличных складчатых областей.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. VIII. М., Наука, 1967, с. 275—303.

187. *Кузебный В. С., Стучевский Н. И., Ревякин П. С.* и др. Итоги структурно-формационного районирования Юго-Западного Алтая на основе геолого-геофизических исследований. — Методы разведочной геофизики, 1971, № 12, с. 143—157.

188. *Кузнецов В. А.* Основные проблемы металлогении ртути. — В кн.: Вопросы металлогении ртути. М., Наука, 1968, с. 7—41.

189. *Кузнецов В. А.* Ртутные провинции СССР. — Геология рудных месторождений, 1970, № 1, с. 3—21.

190. *Кузнецов В. А.* Рудные формации. — Геология и геофизика, 1972, № 6, с. 3—14.

191. *Кузнецов В. А.* Магматизм и рудные формации. — В кн.: Проблемы магматической геологии. Новосибирск, 1973, с. 309—317.

192. *Кузнецов В. А.* Центрально-Азиатский ртутный пояс. — Геология и геофизика, 1974, № 5, с. 103—122.

193. *Кузнецов В. А., Дистанов Э. Г., Оболенский А. А.* Общие принципы и методы выделения рудных формаций и их систематике.— В кн.: Геология и генезис эндогенных рудных формаций Сибири. М., Наука, 1972, с. 7—22.

194. *Кузнецов В. А., Дистанов Э. Г., Оболенский А. А.* Формационный анализ рудных месторождений как основа научного прогнозирования. — Геология и геофизика, 1972, № 5, с. 3—10.

195. *Кузнецов В. А., Оболенский А. А.* Вопросы генезиса ртутных месторождений и проблема источников рудных веществ. — Геология и геофизика, 1970, № 4, с. 44—56.

196. *Кузнецов Ю. А.* Главные типы магматических формаций. М., Недра, 1964. 388 с.

197. *Кузнецов Ю. А.* Основные типы магмоконтролирующих структур и магматические формации. — Геология и геофизика, 1970, № 9, с. 3—24.

198. *Кузнецов Ю. А., Яншин А. Л.* Гранитоидный магматизм и тектоника. — Геология и геофизика, 1967, № 10, с. 108—121.

199. *Кузнецов С. В., Руденко И. М., Скаржинский В. И.* Про гідротермальный битум з ртутного родовища Дружківсько — Костянтинівської антикліналі Донбасу. — Геологічний ж., 1967, № 1, с. 103—104.

200. *Куклин А. П.* Применение распознавающих программ при металлогенических исследованиях. — Колыма, 1967, № 5, с. 37—39.

201. *Кулон Ж.* Разрастание океанического дна и дрейф материков. Л., Недра, 1973. 232 с.

202. *Куражковская Е. А.* Ф. Энгельс о роли геологии в формировании диалектико-материалистического миропонимания.— Вестник МГУ, 1971, № 4, с. 19—28.

203. *Кутырев Э. И.* Планетарная металлогения в свете палеореконструкций. — В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., ВСЕГЕИ, 1974, с. 45—50.

204. *Кушнарев И. П.* Глубины образования эндогенных рудных месторождений. М., Недра, 1969. 152 с.

205. *Лабазин Г. С.* Рудные комплексы и типы эндогенных месторождений подвижных зон и их распределение в ходе геологического развития этих зон. — Материалы ВСЕГЕИ, 1957, вып. 22, с. 65—110.

206. *Лабазин Г. С.* К вопросу о геологическом и металлогеническом развитии подвижных поясов земной коры. — Труды ВСЕГЕИ, 1963, т. 85, нов. серия, с. 35—51.

207. *Лаверов Н. П.* Условия формирования гидротермальных месторождений в континентальных вулканических поясах. — В кн.: Минеральные месторождения. М., Наука, 1972, с. 34—46.

208. *Лаффит П.* Металлогения Франции. — Вестник МГУ, 1969, № 1, с. 26—41.

209. *Лаффит П., Перменжа Ф., Рутье П.* Металлогеническое картирование, металлотекты и региональная геохимия.— В кн.: Проблемы геохимии. М., Наука, 1965, с. 669—672.

210. *Левицкий О. Д., Смирнов В. И.* Значение первичной зональности для поисков рудных тел гидротермального происхождения, не выходящих на поверхность. — Советская геология, 1959, № 2, с. 118—131.

211. *Литохимические* поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1972. 356 с.

212. *Лишневский Э. Н.* Особенности размещения рудной минерализации в Забайкалье по геофизическим данным. — Советская геология, 1972, № 6, с. 119—125.

213. *Лишневский Э. Н.* Опыт металлогенического районирования Сихотэ-Алинской складчатой области по геолого-гравиметрическим данным. — Советская геология, 1974, № 6, с. 34—43.

214. *Лишневский Э. Н., Овчинников Л. Н.* Основные черты стереометрии восточного фланга зоны БАМ. — Геология рудных месторождений, 1977, № 5, с. 55—75.

215. *Логико-информационные* методы оценки рудных месторождений. М., Наука, 1977. 136 с.

216. *Лубченко И. Ю.* Геохимия свинца в осадках современных водоемов. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. наук, ГИН АН СССР. 1973. 29 с.

217. *Ляпунов А. А., Яблонский С. В.* Теоретические проблемы кибернетики. — В сб.: Проблемы кибернетики, вып. 9. М., Физматиздат, 1963, с. 57.

218. *Магакьян И. Г.* Основы металлогении материков. Ереван, 1959. 280 с.

219. *Магакьян И. Г.* Типы рудных провинций и рудных формаций СССР. М., Недра, 1969. 224 с.

220. *Магакьян И. Г.* Металлогения. М., Недра, 1974. 304 с.

221. *Магаровский В. В., Марков А. Б.* Битумы во флюорите из гидротермальных месторождений Таджикистана. — Геохимия, 1966, № 4, с. 459—463.

222. *Малахов А. А.* О глубинах формирования эндогенных месторождений Тянь-Шаня. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. IX. М., Наука, 1970, с. 81—100.

223. *Малиновский Е. П.* Роль структурного фактора в образовании различных типов кварц-вольфрамитовых месторождений.—Геология рудных месторождений, 1961, № 3, с. 84—98.

224. *Малиновский Е. П.* Структурные условия формирования жильных вольфрамовых месторождений. М., Наука, 1964. 164 с.

225. *Малич Н. С., Туганова Е. В.* Структурно-формационный анализ — основа прогноза полезных ископае-

мых на платформах. — В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., ВСЕГЕИ, 1971, с. 68—71.

226. *Маракушев А. А.* Проблемы минеральных фаций метаморфических горных пород. М., Недра, 1965. 327 с.

227. *Масайтис В. Л.* Геологические последствия падений кратерообразующих метеоритов. М., Недра, 1973, 20 с.

228. *Масайтис В. Л., Михайлов И. В., Селивановская Т. В.* Попигайский метеоритный кратер. М., Недра, 1975. 124 с.

229. *Матвеенко В. Т.* Полезные ископаемые и закономерности их размещения в областях мезозойской складчатости. Северо-Восток СССР.— В кн.: Геологическое строение СССР, т. IV. М., Недра, 1968, с. 217—230.

230. *Математические* методы при прогнозе рудоносности. М., Наука, 1977. 276 с.

231. *Маймин Ю. С.* О тектонической природе юрского комплекса Самхито-Карабахской зоны. — Советская геология, № 3, 1978, с. 136—142.

232. *Международный* геохимический конгресс. Тезисы докладов. М., 1971, т. I, 438 с.; т. II, 443—1018 с.

233. *Менакер Г. И.* Строение земной коры и закономерности пространственного размещения рудных месторождений в Центральном и Восточном Забайкалье. — Геология рудных месторождений, 1972, № 6, с. 3—16.

234. *Металлогеническая* карта СССР м-ба 1 : 2 500 000. Л., Изд-во ВАГТ МГ СССР, 1971, 18 листов. Отв. редакторы: В. Г. Грушевой, К. Б. Ильин, В. П. Матвеенко, А. И. Семенов, П. М. Татаринов, Е. Т. Шаталов.

235. *Металлогенический* анализ рудоконтролирующих факторов в рудных районах. М., Недра, 1972, 296 с./ Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, И. Н. Томсон, Р. М. Константинов.

236. *Металлогенический* анализ в областях активизации. Кол. авторов. М., Наука, 1977. 176 с.

237. *Металлогения* докембрия. Тезисы докладов 1 Всесоюзного совещания по металлогении докембрия. Л., 1975. 200 с.

238. *Металлогения* и новая глобальная тектоника. Л., ВСЕГЕИ, 1973. 158 с.

239. *Металлогения* Казахстана. Кол. авторов. Алма-Ата, 1977. 190 с.

240. *Металлогения* областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973. 214 с.

241. *Металлогения* ртути. Кол. авторов. М., Недра, 1976. 256 с.

242. *Метаморфогенное* рудообразование. М., Наука, 1977. 280 с.

243. *Методическое* пособие по металлогении. Кол. авторов. М., Недра, 1976. 272 с.

244. *Методика* регионального прогнозирования месторождений полезных ископаемых. — Труды ВСЕГЕИ, нов. сер. 1976, т. 227. 142 с.

245. *Милановский Е. Е.* Рифтовые зоны континентов. М., Недра, 1976. 276 с.

246. *Милановский Е. Е.* Разломы рифтовых зон. Бюлл. МОИП. Отд. геологии, т. 53, [1], 1978, с. 5—21.

247. *Милашев В. А.* Кимберлитовые провинции. Л., Недра, 1974. 238 с.

248. *Михайлов Н. П.* Казахстанская складчатая область. Зоны допалеозойской консолидации. — В кн.: Геологическое строение СССР, т. III. М., Недра, 1968, с. 280—286.

249. *Михайлов Н. П., Щеглов А. Д.* Магматизм областей тектонической активизации. — В кн.: Магматизм, формации кристаллических пород и глубины земли. М., Недра, 1972, ч. 1, с. 44—50.

250. *Михайлова Ю. И.* Обзор зарубежного опыта машинной обработки геологической информации в связи с металлогеническими исследованиями. — В кн.: Математические методы в геологии. — Труды ВСЕГЕИ, 1968, т. 150, с. 62—74.

251. *Михайлова Ю. И.* Применение математических методов при металлогенических исследованиях. — В кн.: Принципы и методы составления металлогенических и прогнозных карт рудных полей и районов. М., Недра, 1973, с. 116—119.

252. *Михайлова Ю. И., Иванова А. А.* Некоторые аспекты применения метода главных компонентов при металлогенических исследованиях. — Геология рудных месторождений Таджикистана. — Геохимия, 1966, № 4, с. 459—463.

253. *Моисеенко Ф. С.* Современные представления о земной коре. — Вестник Лен. ун-та, 1975, № 24, с. 5—16.

254. *Моисеенко Ф. С., Есиков Н. П.* О прогнозно-поисковом значении зависимостей между размещением рудных месторождений и глубинным строением земной коры. — Докл. АН СССР, 1974, т. 126, № 4, с. 891—894.

255. *Муратов М. В.* Происхождение материков и океанических впадин. М., Наука, 1975. 176 с.

256. *Муратов М. В.* Главнейшие черты тектоники территории СССР. Изв. Высш. учебн. завед. Геол. геоф., 1977, № 11, с. 21—35.

257. *Муратов М. В., Хаин В. Е.* Геосинклинальные пояса, орогенные пояса, складчатые пояса и их соотношение во времени и в пространстве. — В кн.: Орогенические пояса. М., Наука, 1968, с. 48—53.

258. *Муратов М. В., Яншин А. Л.* Развитие представлений о срединных массивах и их роль в строении складчатых областей. — В кн.: Тектоника срединных массивов. (Тезисы докладов, АН СССР). М., 1974, с. 1—3.

259. *Нагибина М. С.* О тектонических структурах, связанных с активизацией и ревивацией. — Геотектоника, 1967, № 4, с. 15—26.

260. *Нагибина М. С., Шилов В. Н.* Сравнительный анализ истории развития структур и магматизма тихоокеанских вулкано-плутонических поясов. Изв. АН СССР, Сер. геол., № 1, 1978, с. 36—48.

261. *Нартикоев В. Д.* Разломы фундамента и их роль в размещении редкометальных месторождений (Чукотка). — Изв. высш. учебн. заведений. Геол. и разв., 1976, № 2, с. 47—56.

262. *Нартикоев В. Д., Константинов Р. М., Кочнева Н. Т.* Опыт применения дискретного анализа при оценке перспектив рудоносности Иультинского района. — Советская геология, 1972, № 4, с. 136—139.

263. *Нехорошев В. П.* Тектоника и металлогения юго-западного Алтая. — Изв. ВГРО, Л., 1932, т. 51, вып. 15, с. 249—268.

264. *Ниггли П.* Генетическая классификация магматических рудных месторождений. Л.—М., Геолразведиздат, 1933. 92 с.

265. *Новая* глобальная тектоника (тектоника плит). Сборник статей. М., Мир, 1974. 472 с.

266. *Обручев В. А.* Металлогенические эпохи и области Сибири. М., Госиздат, 1926, вып. 21, 64 с. (Тр. Ин-та прикл. минер. и металлург.).

267. *Обручев В. А.* Закономерности распределения полезных ископаемых в главных районах СССР. — Социал. реконстр. и наука, 1933, вып. 6, с. 46—64.

268. *Общие* принципы регионального металлогенического анализа и методика составления металлогенических карт для складчатых областей. Под редакцией П. М. Татаринова, В. Г. Грушевого, Г. С. Лабазина. — Материалы ВСЕГЕИ. М., Госгеолиздат, 1957, вып. 22, 150 с.

269. *Овчинников Л. Н.* Прогнозная оценка мировых запасов металлов в месторождениях суши. — Докл. АН СССР, 1971, № 3, с. 683—686.

270. *Овчинников Л. Н.* Всесоюзное совещание «Проблемы металлогении в свете новых идей глобальной тектоники». — Геология рудных месторождений, 1974, № 3, с. 111—114.

271. *Овчинников Л. Н., Баранов В. Д.* О некоторых закономерностях размещения колчеданно-полиметаллических месторождений Алтая. — Геология рудных месторождений, 1973, № 6, с. 17—31.

272. *Овчинников Л. Н., Баранов В. Д.* Проблема стереометаллогении. — В сб.: Проблемы металлогении и рудогенеза. М., Наука, Алма-Ата, 1974, с. 15—21.

273. *Одинцов М. М., Домышев В. Г.* Ангаро-Вилюйский рудный пояс. — Геология и геофизика, 1977, № 1, с. 3—15.

274. *Озерова Н. А., Пиковский Ю. И.* О ртути в нефтяных и газовых месторождениях СССР. — Геология рудных месторождений, 1974, № 4, с. 85—91.

275. *Озерский А. Д.* Очерк геологии минеральных богатств и горного промысла Забайкалья. Спб., 1867. 90 с.

276. *Ольденбург С. Ф.* Одна из боевых задач. — Природа, 1965, № 4, с. 3.

277. *Океаны* и геосинклинальный процесс. — Докл. АН СССР, 1971, т. 196, № 3, с. 657—659./А. В. Пейве, Н. С. Штрейс, А. Л. Книппер и др.

278. *Онихимовский В. В., Гаврилов В. И.* Металлогенические особенности оловорудных поясов. — В кн.: Геология и металлогения Приамурья. Владивосток, 1977. 152 с.

279. *Онихимовский В. В.* К направлению металлогенических исследований на Дальнем Востоке. — В кн.: Геология и металлогения Приамурья. Владивосток, 1977. 152 с.

280. *Онихимовский В. В.* Металлогеническое значение линеаментов, овальных и кольцевых структур Приамурья. — Советская геология, 1977, № 9, с. 51—61.

281. *Осика Р.* Минералогический атлас Польши. Металлогеническая карта 1 : 2 000 000. Варшава, 1970, с. 1—18 с приложениями.

282. *Основные* закономерности размещения месторождений полезных ископаемых на территории СССР. Геологическое строение СССР. Отв. редакторы А. И. Семенов, А. Д. Щеглов. Т. IV. М., Недра, 1968. 504 с.

283. *Основные* закономерности развития и металлогения областей тектоно-магматической активизации юга Азиатской части СССР. Л., Недра, 1979. 471 с.

284. *Основные* принципы и методика составления прогнозно-металлогенических карт рудных районов в палеовулканических областях. М., Недра, 1973. 256 с.

285. *Основы* научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., ВСЕГЕИ, 1971. 454 с.

286. *Основы* научного прогноза месторождений твердых полезных ископаемых. М., СЭВ, 1971, вып. 1, 194 с.; вып. 2, 194 с.; вып. 3, 226 с.; вып. 4, 248 с.; вып. 5, 184 с.; вып. 6, 78 с.; вып. 7, 202 с.

287. *Особенности* эволюции метаморфогенного рудообразования в докембрии СССР. — Геология рудных месторождений, 1973, № 6, с. 3—16./ К. О. Кратц, Ю. М. Соколов, В. А. Глебовицкий, В. Б. Дагелайский, М. Е. Салье, С. И. Турченко.

288. *Павлова И. Г., Соловьев В. В.* Использование морфоструктур центрального типа для анализа закономерностей размещения медных месторождений. Л., Недра, 1976. (Труды ВСЕГЕИ, нов. сер., 1976, т. 227, с. 19—29).

289. *Парк Ч.* Теория зональности рудных месторождений.— В кн.: Проблемы рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1959, с. 214—234.

290. *Пейве А. В.* Океаническая кора геологического прошлого. — Геотектоника, 1969, № 4, с. 5—23.

291. *Пейве А. В., Богданов Н. А., Книппер А. Л., Перфильев А. С.* Офиолиты: современное состояние и задачи исследований. — Геотектоника, 1977, № 6, с. 4—14.

292. *Перфильев А. С.* Формирование континентальной коры и металлогения. — Геотектоника, № 5, 1977, с. 56—71.

293. *Петрология* и перспективы рудоносности траппов севера Сибирской платформы. — Труды Ин-та геол. и геоф. СО АН СССР, 1978, вып. 357, Новосибирск, 217 с.

294. *Покалов В. Т.* Условия образования эндогенных месторождений молибдена в СССР. М., Недра, 1964. 210 с. (Труды ВИМС, вып. 12).

295. *Полетика И. А.* Общие свойства месторождений золота.— Горный журнал, Спб, 1866, ч. 1, с. 49—98.

296. *Принципы* и методы прогнозирования медноколчеданного и полиметаллического оруденения. М., Недра, 1972. 256 с.

297. *Принципы* и методика составления металлогенических и прогнозных карт рудных полей и районов. Отв. редактор В. А. Королев, М., Недра, 1973. 200 с.

298. *Принципы* прогнозирования свинцово-цинковых месторождений и методика составления прогнозных карт. Колл. авторов. М., Недра, 1978. 192 с.

299. *Проблемы* глобальной тектоники. М., Наука, 1973. 100 с.

300. *Проблемы* региональной металлогении. — Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 191. 224 с.

301. *Проблемы* рудообразования. София, Изд-во Болгарской академии наук, 1977, т. II. 568 с.

302. *Прогнозирование* скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. (Тезисы докладов АН СССР). М., 1972. 290 с.

303. *Прогнозирование* месторождений полезных ископаемых при региональных металлогенических исследованиях. Л., ВСЕГЕИ, 1973, 204 с.

304. *Прогнозирование* рудоносных площадей. Колл. авторов: Г. М. Мейтув, Т. А. Иванова, В. В. Севанов и др. М., Наука, 1976, с. 276.

305. *Прогнозирование* скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. М., Наука, 1976. 288 с.

306. *Прогнозная* оценка рудоносности вулканогенных формаций. М., Недра, 1977. 296 с.

307. *Пуринг В. В., Дитмар Г. В., Мокамовский В. А., Уфимцев Г. Ф.* Об использовании особенностей глубинного строения земной коры для металлогенического анализа и тектонического районирования. — Геология и геофизика, 1976, № 9, с. 8—14.

308. *Пуура В., Судов Б.* О зонах платформенной тектонической активизации южного склона Балтийского щита и их металлогении. — Изв. АН ЭССР, 1976, т. 25, № 3, с. 206—214.

309. *Пущаровский Ю. М.* Резонансно-тектонические структуры. — Геотектоника, 1969, № 1, с. 3—12.

310. *Радкевич Е. А.* Металлогения рудных районов как новое направление металлогенических исследований. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 462—470.

311. *Радкевич Е. А.* О типах вертикальной и горизонтальной зональности. — Советская геология, 1959, № 9, с. 70—85.

312. *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, 1959, с. 25—60.

313. *Радкевич Е. А., Томсон И. Н., Лобанова Г. М.* Геология и металлогения типовых рудных районов Приморья. — Труды ИГЕМ, 1962, вып. 58. 130 с.

314. *Радкевич Е. А.* Критерии глубинности и зональности. — В кн.: Глубинность и зональность оруденения в Тихоокеанском рудном поясе. Владивосток, 1971, с. 5—12.

315. *Радкевич Е. А.* Симпознум по глубинности и зональности оруденения в Тихоокеанском рудном поясе.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. X. М., Наука, 1973, с. 289—294.

316. *Радкевич Е. А.* О процессах активизации в Тихоокеанском рудном поясе. — В сб. Металлогения областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973.

317. *Радкевич Е. А.* Проблемы современной металлогении. — В сб.: Пробл. металлогении и рудогенеза. Алма-Ата, Наука, 1974, с. 72—84.

318. *Радкевич Е. А.* История развития металлогенических идей. — Геология и геофизика, 1974, № 12, с. 3—12.

319. *Радкевич Е. А.* Очерк металлогении Тихоокеанского рудного пояса. М., Наука, 1976. 96 с.

320. *Разломы* земной коры. М., Наука, 1977. 185 с.

321. *Разломы* и горизонтальные движения земной коры. Ред. А. В. Пейве. М., Наука, 1963. 312 с.

322. *Региональные* и локальные закономерности размещения месторождений. Л., ВСЕГЕИ, 1970, вып. I, 44 с.; вып. II, 72 с.; вып. III, 56 с.; вып. IV, 48 с.; вып. V, 64 с.; вып. VI, 56 с.

323. *Роль* геологических аналогий в открытии новых меднопорфировых месторождений. Экспресс-информация ВИЭМС, 1972, № 4, с. 11—12.

324. *Розинов М. И., Шолпо Л. Е.* Опыт применения палеомагнитных реконструкций при региональных металлогенических исследованиях.— В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника, Л., ВСЕГЕИ, 1973, с. 50—52.

325. *Рундквист Д. В.* Эволюция рудообразования во времени. — В кн.: Геологическое строение СССР, т. V. М., Недра, 1969, с. 303—321.

326. *Рундквист Д. В., Павлова И. Г.* Опыт выделения формаций гидротермально-метасоматических пород. — Зап. Всесоюзн. минерал. о-ва, 1974, № 3, с. 289—304.

327. *Рундквист Д. В., Унксов В. А., Мильштейн Д. М.* Рудоносные зоны разломов, их морфокинематическая характеристика и глубинность. — В кн.: Разломы земной коры. М., Наука, 1976, с. 54.

328. *Сатпаев К. И.* О прогнозных металлогенических картах Центрального Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1953, № 6, с. 15—25.

329. *Сатпаев К. И.* Комплексные металлогенические прогнозные карты Центрального Казахстана. — В кн.: Материалы научной сессии по металлогеническим и прогнозным картам. Алма-Ата, 1958, с. 12—26.

330. *Семенов А. И.* Структурно-металлогенические зоны. — В кн.: Об-

щие принципы регионального металлогенического анализа. — Материалы ВСЕГЕИ; 1957, вып. 22, с. 111—128.

331. *Семенов А. И.* Некоторые вопросы металлогении урана. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 110—136.

332. *Семенов А. И.* О типах металлогенических провинций в складчатых областях СССР. — Геология рудных месторождений, 1963, № 4, с. 3—23.

333. *Семенов А. И.* Принципы выделения и характерные особенности главнейших типов металлогенических провинций в складчатых областях СССР. — В кн.: Вопросы металлогении. М., Недра, 1965, с. 13—27.

334. *Семенов А. И., Лабазин Г. С.* Основные проблемы исследований в области региональной металлогении.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 60—78.

335. *Семенов А. И., Старицкий Ю. Г., Шаталов Е. Т.* Главные типы металлогенических провинций и структурно-металлогенических зон на территории СССР. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. VIII. М., Наука, 1967, с. 55—78.

336. *Сидоренко А. В.* Некоторые вопросы изучения докембрия. — В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия. М., Недра, 1967, вып. 2, с. 5—13.

337. *Синчук Ю. А.* Источники рудного вещества стратиформных свинцово-цинковых месторождений Западного Забайкалья. — В кн.: Геология и полезные ископаемые юга Восточной Сибири. Иркутск, 1974, с. 380—382.

338. *Сиротинская С. В.* Методы подготовки шкал геологических признаков для последующей оценки перспектив месторождений с помощью ЭВМ. — В кн.: Основы научного прогноза рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., ВСЕГЕИ, 1971, с. 175—177.

339. *Смирнов В. И.* Рудные пояса. — В кн.: Вопросы стратигр. и прикладной геологии. Л., Гостехиздат, 1947, сб. I, с. 5—10.

340. *Смирнов В. И.* Металлогения геосинклиналей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. V. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 17—81.

341. *Смирнов В. И.* Очерки металлогении. М., Госгеолтехиздат, 1963. 164 с.

342. *Смирнов В. И.* Металлогения тектонических зон геосинклиналей.— В кн.: Вопросы металлогении. М., Недра, 1965, с. 29—44.

343. *Смирнов В. И.* Особенности металлогении полицикличных геосинклиналей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. VIII. М., Наука, 1967, с. 40—55.

344. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1969. 688 с.

345. *Смирнов В. И.* Металлогения и источники рудообразующих веществ. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. IX. М., Наука, с. 5—19.

346. *Смирнов В. И.* Зоны Беньофа и геосинклинальная металлогения. — В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., Недра, 1973, с. 10.

347. *Смирнов В. И.* Проблемы прогноза рудной базы страны. — Вестник АН СССР, 1973, № 6, с. 59—65.

348. *Смирнов В. И.* Проблемы геологии рудных месторождений на Международном геологическом конгрессе в Канаде. — Геология рудных месторождений, 1973, № 1, с. 3—15.

349. *Смирнов В. И.* Метеоритная гипотеза происхождения Сёдбери. — Геология рудных месторождений, 1973, № 2, с. 3—12.

350. *Смирнов В. И.* Зоны Беньофа и магматогенное рудообразование. — Геология рудных месторождений, 1974, № 1, с. 3—17.

351. *Смирнов В. И.* О металлогении океана. — Геология рудных месторождений, 1975, № 1, с. 3—13.

352. *Смирнов В. И.* Проблемы геотектоники и эндогенного рудообразования. — Вестник Мос. ун-та. Сер. геол., 1977, № 5, с. 14—26.

353. *Смирнов В. И.* Варианты доорогенной металлогении. — Геология рудных месторождений, 1977, № 11, с. 3—12.

354. *Смирнов В. И.* Общие проблемы доорогенной металлогении. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., Наука, 1978, т. XII, с. 5—14.

355. *Смирнов С. С.* К минерагении Средне-Сибирской платформы.— Проблемы советской геологии, 1933, № 10, с. 97—112.

356. *Смирнов С. С.* Металлогения Западного Верхоянья.— Проблемы советской геологии, 1934, № 4, с. 1—28.

357. *Смирнов С. С.* Схема металлогении Восточного Забайкалья. — Проблемы советской геологии, 1936, № 10, с. 846—864.

358. *Смирнов С. С.* Некоторые замечания о сульфидно-касситеритовых месторождениях. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1946, № 3, с. 3—13.

359. *Смирнов С. С.* К оценке оловорудных районов. — Советская геология, 1941, № 3, с. 3—16.

360. *Смирнов С. С.* Очерк металлогении Восточного Забайкалья. Л., Госгеолтехиздат, 1944, 91 с.

361. *Смирнов С. С.* Тихоокеанский рудный пояс в пределах СССР. — Природа, 1946, № 2, с. 52—80.

362. *Смирнов С. С.* О Тихоокеанском рудном поясе. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1946, № 2, с. 13—28.

363. *Смирнов С. С.* Рецензия на статью П. Ниггли «Систематика магматогенных рудных месторождений». — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 1, с. 154—159.

364. *Смыслов А. А., Моисеенко У. И.* Неоднородность теплового режима земной коры и проблемы глобальной тектоники. — В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., 1973, с. 68—73.

365. *Соколов Ю. М., Турченко С. И., Салье М. Г.* Проблемы изучения металлогенической модели докембрия.— В сб. Probл. геол. раннего докембрия. Л., Наука, 1977, с. 109—117.

366. *Соловов А. П.* Оценка прогнозных запасов на основе косвенных геофизических данных. — В кн.: Геофизические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1970, с. 319—396.

367. *Соловов А. П.* Геохимические методы. — В кн.: Геофизические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1970, с. 268—280.

368. *Соловов А. П., Досанова Б. А., Кошелева И. А.* Анализ результатов поисковых литохимических съемок при прогнозно-металлогенических исследованиях. — Вестник МГУ, Геология, 1970, № 4, с. 39—55.

369. *Соловьев В. В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Объяснит. записка к карте морфоструктур центрального типа территории СССР м-ба 1 : 10 000 000. Л., 1978, с. 109.

370. *Солодов Н. А.* Минерагения литофильных редких элементов. М., Недра, 1978. 176 с.

371. *Ставцев А. Л.* О тектонике и металлогении краевых чешуйчато-надвиговых зон в обрамлении древних платформ. — Геология рудных месторождений, 1976, № 1, с. 29—45.

372. *О принципах* составления металлогенических карт для платформ. Матер. научной сессии по металлог. картам. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1958, с. 27—36/Ю. Г. Старицкий, В. Л. Масайтис, В. И. Драгунов, Н. С. Малич.

373. *Старицкий Ю. Г.* Некоторые особенности магматизма и металлогении платформенных областей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 252—274.

374. *Старицкий Ю. Г.* О принципах и методике составления обзорных металлогенических карт для платформ. — Советская геология, 1965, № 10, с. 3—19.

375. *Старицкий Ю. Г.* Основные проблемы металлогении платформ.— В кн.: Проблемы региональной металлогении. Труды ВСЕГЕИ, 1973, т. 191, с. 33—40.

376. *Минерагения* Сибирской платформы. М., Недра, 1960. 208 с./Старицкий Ю. Г., Басков Е. А., Малич Н. С., Масайтис В. Л., Тазихин Н. Н., Яковлев И. К.

377. *Строна П. А.* О применении термина «формация» к рудным образованиям. — Записки ЛГИ, 1968, т. V, вып. 2, с. 3—7.

378. *Строна П. А.* Основы металлогении. Курс лекций. Л., 1976, с. 100.

379. *Строна П. А.* Главные типы рудных формаций. Л., Недра, 1978, с. 200.

380. *Суджинский В.* О некоторых геохимических чертах металлогенической специализации Бразильской платформы. Международный геохимический конгресс. Тезисы докладов. М., 1971, т. I, с. 241—244.

381. *Судовиков Н. Г.* Принципы металлогенического анализа докем-

брийских областей. — В кн.: Проблемы изучения докембрия. Л., Наука, 1967, с. 16—23.

382. *Суганов Б. И., Богацкий В. В.* Пространственно-статистический анализ геологических данных при металлогенических и геохимических исследованиях. — В кн.: 2-е Сиб. совещание по применению математ. методов и ЭВМ в геологии и геофизике. Новосибирск, 1967, с. 75—76.

383. *Тарков А. П.* Планетарное районирование тектоносферы по данным гравиметрии. — Докл. АН СССР, 1971, № 2, с. 411—414.

384. *Татаринов П. М., Строна П. А.* Основные особенности месторождений, связанных с вулканогенными формациями. — Зап. Всесоюзн. минерал. о-ва, 1967, вып. 1, с. 3—11.

385. *Таусон Л. В.* Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М., Наука, 1977. 280 с.

386. *Твалчрелидзе Г. А.* О методике металлогенического анализа. — Советская геология, 1961, № 3, с. 23—30.

387. *Твалчрелидзе Г. А.* Опыт систематики эндогенных месторождений складчатых областей. М., Недра, 1966. 176 с.

388. *Твалчрелидзе Г. А.* О главнейших металлогенических эпохах Земли. — Геология рудных месторождений, 1970, № 1, с. 22—36.

389. *Твалчрелидзе Г. А.* О задачах региональных геофизических исследований при решении металлогенических проблем. — В кн.: Методы разведочной геофизики. Л., 1971, с. 6—12.

390. *Твалчрелидзе Г. А.* Металлогеническая характеристика главных типов эвгеосинклиналей. — Советская геология, 1972, № 12, с. 26—42.

391. *Твалчрелидзе Г. А.* Рудные провинции мира. М., Недра, 1972. 344 с.

392. *Твалчрелидзе Г. А.* Металлогенические особенности главных типов вулканических поясов. М., Недра, 1977. 110 с.

393. *Твалчрелидзе Г. А., Нетреба А. В., Панцулая В. В., Черницын В. Б.* Научные принципы металлогенического анализа Кавказа. — В сб.: Пробл. геол. и металлогении Кавказа. Тбилиси, 1976, с. 7—41.

394. *Тектоника* срединных массивов (тезисы докладов). М., 1974. 40 с.

395. *Терентьев В. М.* Типы активизированных структур областей обрамления Сибирской платформы. Труды ВСЕГЕИ, т. 207, 1975, с. 76—86.

396. *Томсон И. Н., Фаворская М. А.* Глубинная блоковая тектоника, магматизм и оруденение. — В кн.: Проблемы геологии минеральных месторождений, петрологии и минералогии, т. 1. М., Наука, 1969, с. 80—107.

397. *Третий* международный симпозиум по геохимическим методам поисков (резюме докладов). — Новости зарубежной литературы. ВИЭМС, 1971, № 3, с. 36.

398. *Тугаринов А. И.* О причинах формирования рудных провинций. — В кн.: Химия земной коры, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1968, с. 152—177.

399. *Тюрнор Ф. С.* Металлогенические провинции и эпохи. — В кн.: Проблемы рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1959, с. 34—82.

400. *Уемов А. И.* Аналогии в практике научного исследования. М., Наука, 1970. 152 с.

401. *Устиев Е. К.* Охотский тектономагматический пояс и некоторые связанные с ним проблемы. — Советская геология, 1959, № 3, с. 3—26.

402. *Связь* магматизма и эндогенной минерагении с блоковой тектоникой. М., Недра, 1969. 264 с./ М. А. Фаворская, И. Н. Томсон, Р. Г. Иванов и др.

403. *Глобальные* закономерности размещения крупных рудных месторождений. М., Недра, 1974. 192 с. Авт.: М. А. Фаворская, И. Н. Томсон, В. А. Баскина, И. К. Волчанская, О. П. Полякова.

404. *Важнейшие* задачи изучения закономерностей распространения минеральных ресурсов Мирового океана. Л., Недра, 1974, с. 5—13 (Труды Н.-и. лабор. геологии заруб. стран, вып. 27)./В. В. Федынский, В. Е. Хаин, Е. А. Величко и др.

405. *Ферсман А. Е.* Химические элементы Земли и космоса. Пг., 1923. 175 с.

406. *Ферсман А. Е.* Монголо-Охотский металлогенический пояс. — Поверхность и недра, 1926, т. 4, № 3, с. 8—10.

407. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Л.—М., Госхимтехиздат, 1933, т. I, 326 с.; 1934, т. II, 354 с.

408. *Фолинсби Р. Е.* Докембрийские металлогенические эпохи — атмосферные или глубинные? Международный

геохим. конгресс, тезисы докладов. М., 1971, т. II, с. 967—969.

409. *Флюорит*. М., Наука, 1976. 288 с.

410. *Хаин В. Е.* Об основных тенденциях в развитии земной коры. — Вестник МГУ, 1968, № 1, с. 25—40.

411. *Хаин В. Е.* Тектонические типы вулканических поясов. — В кн.: Проблемы геологии и металлогении вулканических поясов, т. 1. Владивосток, 1970, с. 9—20.

412. *Хаин В. Е.* Об общих закономерностях развития тектонических процессов во времени — проблемы прерывистости — непрерывности, цикличности — направленности. — Вестник МГУ, 1971, № 4, с. 3—18.

413. *Хаин В. Е.* Региональная геотектоника. М., Недра, 1971. 548 с.

414. *Хаин В. Е.* О современном положении в теоретической геотектонике и вытекающих из него задачах. — Геотектоника, 1972, № 4, с. 3—4.

415. *Хаин В. Е.* Общая геотектоника. М., Недра, 1973. 512 с.

416. *Хаин В. Е.* О новой глобальной тектонике. — В кн.: Проблемы глобальной тектоники. М., Наука, 1973, с. 5—26.

417. *Хаин В. Е.* Срединные массивы как микроконтиненты. — В кн.: Тектоника срединных массивов. М., Наука, 1974, с. 9—10.

418. *Хаин В. Е.* Региональная геотектоника. М., Недра, 1977. 360 с.

419. *Хаин В. Е.* Очередные проблемы региональной тектоники СССР. Вест. Моск. ун-та, сер. геол., 1977, № 5, с. 27—44.

420. *Хаин В. Е.* От тектоники плит к более общей теории глобального тектогенеза. — Геотектоника, 1978, № 3, с. 3—26.

421. *Харкевич Д. С.* Об основах классификации геосинклинальных областей. — Докл. АН СССР, 1953, т. 40, № 6, с. 1127—1129.

422. *Харкевич Д. С.* К проблеме классификации геосинклинальных областей. — Ученые зап. Кишиневского гос. ун-та, 1955, т. X, № 1, с. 51—64.

423. *Херасков Н. П.* Тектоника и формации. М., Наука, 1967. 404 с.

424. *Хорева Б. Я.* Принципы выделения и классификации метаморфических и плутоно-метаморфических формаций. — Докл. АН СССР, 1967, т. 176, с. 1138—1141.

425. *Хренов П. М., Бухаров А. А.* Краевые вулкано-плутонические пояса Северо-Азиатского кратона. — Советская геология, 1972, № 4, с. 21—34.

426. *Хренов П. М., Бухаров А. А., Гордиенко И. В.* Металлогения вулкано-плутонических поясов внегеосинклинального типа. — В кн.: Металлогения областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973, с. 16—30.

427. *Хрущов Н. А.* О вертикальной зональности некоторых рудных месторождений. — Зап. Всесоюзн. минерал. о-ва, 1953, № 1, с. 53—59.

428. *Хрущов Н. А.* Классификация месторождений молибдена. — Геология рудных месторождений, 1959, № 6, с. 52—67.

429. *Чагин М. М.* О применении информационных мер при решении задач геологического прогнозирования. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1969, № 11.

430. *Черницын В. Б.* Металлогения Большого Кавказа. М., Недра, 1977. 190 с.

431. *Чиков Б. М.* Сравнительная тектоника срединных массивов складчатых областей докембрия и фанерозоя. 1977, Новосибирск. Автор. диссертации на соиск. уч. степени доктора наук, с. 52.

432. *Чупров В. В., Столпнер М. Н., Антипов В. С.* Ртутоносность и некоторые особенности глубинного строения зон тектоно-магматической активизации. — В кн.: Металлогения областей тектоно-магматической активизации. Иркутск, 1973, с. 131—133.

433. *Шаталов Е. Т.* Металлогенические исследования рудных районов. — Вестник АН СССР, 1958, № 9, с. 16—21.

434. *Шаталов Е. Т.* О металлогеническом районировании и применяемой терминологии. — Геология рудных месторождений, 1959, № 3, с. 3—33.

435. *Шаталов Е. Т.* Обзор геологических карт, представленных на XXI сессии Международного геологического конгресса. — В кн.: Проблемы геологии на XXI сессии Междунар. геол. конгресса. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 365—389.

436. *Шаталов Е. Т.* Термины, относящиеся к общим определениям металлогении, металлогеническому районированию и металлогеническим кар-

там. — В кн.: Обзор геологических понятий и терминов в применении к металлогении. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 7—25.

437. *Шаталов Е. Т.* Основные принципы генетической классификации рудоносных площадей с эндогенной минерализацией. — В кн.: Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов. М., Недра, 1965, с. 248—301.

438. *Шаталов Е. Т.* Принципы составления металлогенических карт. — В кн.: Вопросы металлогении. М., Недра, 1965, с. 45—61.

439. *Шаталов Е. Т.* Металлогенические исследования в СССР. — Советская геология, 1967, № 10, с. 16—31.

440. *Шаталов Е. Т.* Региональные геологические исследования в СССР.— Советская геология, 1968, № 7, с. 3—17.

441. *Шаталов Е. Т.* Некоторые вопросы развития региональной металлогении.— В кн.: Геологическое строение СССР, т. V. М., Недра, 1969, с. 439—467.

442. *Шатский Н. С.* О марганценосных формациях и о металлогении марганца. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1954, № 4, с. 3—37.

443. *Шатский Н. С.* Фосфоритоносные формации и классификации фосфоритовых залежей. — В кн.: Совещание по осадочным породам. М., Изд-во АН СССР, 1955, вып. 2, с. 7—100.

444. *Шатский Н. С.* Геотектоническая закономерность распределения эндогенных рудных месторождений.— Изв. Высших учебн. заведений. Геология и разведка, 1960, № 11, с. 9—18.

445. *Шахов Ф. Н.* Геология жильных месторождений. Л., Наука, 1964, 222 с.

446. *Шаякубов Т. Ш.* Геология и рудоносность палеозойских вулканогенных формаций Южного Узбекистана. Ташкент, ФАН, 1978. 127 с.

447. *Шер С. Д.* Металлогения золота. М., Недра, 1974. 256 с.

448. *Шило Н. А., Бабкин П. В. Белый В. Ф., Сидоров А. А.* Восточно-Азиатская система краевых вулканогенных поясов — особенности строения, магматизма и металлогении. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 2, с. 24—32.

449. *Методы* количественной оценки прогнозных запасов эндогенных месторождений, рудных полей и районов. Ташкент, 1966, 68 с./П. А. Шехтман, Ю. А. Аверин, К. Л. Бабаев, В. А. Королев и др.

450. *Шлыгин Е. Д.* Сравнительная характеристика Молданубской глыбы Чехословакии и Кокчетавской глыбы Казахстана. — В кн.: Орогенические пояса. М., Наука, 1968, с. 138—141.

451. *Шманенков И. В.* Технологические исследования минерального сырья. — Разведка и охрана недр, 1972, № 11, с. 58—61.

452. *Шмулевич А. Д., Шмелев А. Г.* Металлогенический анализ и прогнозирование эндогенного оруденения на основе количественной оценки рудоконтролирующих факторов. — Рудные месторождения, 1978, № 2, с. 83—91.

453. *Щеглов А. Д.* К вопросу о вертикальной зональности некоторых вольфрамовых месторождений Забайкалья. — Труды ИГЕМ, 1956, вып. 3, с. 270—278.

454. *Щеглов А. Д.* Некоторые вопросы металлогении Юго-Восточного Забайкалья. — Советская геология, 1960, № 1, с. 75—86.

455. *Щеглов А. Д.* Некоторые вопросы вертикальной зональности флюоритовых месторождений Забайкалья и поисков скрытых рудных тел. — В кн.: Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 340—354.

456. *Щеглов А. Д.* О некоторых особенностях формирования гидротермальных месторождений. — Зап. Всесоюзн. минерал. о-ва, 1963, ч. 92, вып. 5, с. 513—524.

457. *Щеглов А. Д.* Эндогенная металлогения Западного Забайкалья. Л., Недра, 1966. 280 с.

458. *Щеглов А. Д.* Металлогения областей автономной активизации. Л., Недра, 1968. 180 с.

459. *Щеглов А. Д.* Основные особенности эндогенной металлогении южной части Западного Пакистана.— Геология рудных месторождений, 1969, № 3, с. 40—51.

460. *Щеглов А. Д.* Металлогения срединных массивов. Л., Недра, 1971. 148 с.

461. *Щеглов А. Д.* Металлогения вольфрама в пределах Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 10. М., Наука, 1973, с. 198—212.

462. *Щеглов А. Д.* Основные особенности металлогении областей тектоно-магматической активизации и новые пути регионального прогноза рудных месторождений.— В кн.: Проблемы металлогении областей тектоно-магматической активизации. М., Наука, 1975. 368 с.

463. *Щерба Г. Н.* Геотектоногены и рудные пояса. Алма-Ата, Наука, 1970. 184 с.

464. *Щерба Г. Н., Попов А. А.* Некоторые данные о мощности земной коры в южной части Восточного Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1962, вып. 3 (48), с. 18—27.

465. *Щербаков Д. И.* Особенности металлогении Средней Азии. — В кн.: Таджикско-Памирская экспедиция 1934 г. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1935, с. 37—50.

466. *Щербаков Д. И.* Принципы и методика составления металлогенической карты. — Советская геология, 1945, сб. 5, с. 52—64.

467. *Щербаков Д. И.* О картах прогноза для магматических рудных месторождений. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1952, № 4, с. 9—14.

468. *Шумлянский В. А., Аманов В. А., Уралов П. А., Митрофанов А. И., Мур Ю. А.* О древнекиммерийской активизации и металлогении западного склона Украинского щита. — Докл. АН УССР, серия «б», 1978, № 3, с. 231—235.

469. *Эдельштейн Я. С.* О геологии СССР и миллионной геологической карте СССР. — Вестник ЛГУ, 1947, № 6, с. 87—94.

470. *Тестовый* подход к количественной оценке геолого-структурных факторов и масштабов оруденения.— Геология рудных месторождений, 1971, № 2, с. 30—42. Авт.: С. В. Яблонский, Н. Г. Демидова, Р. М. Константинов, З. К. Королева, В. Б. Кудрявцев, С. В. Сиротинская.

471. *Яковлев Г. Ф.* Рудоносные вулканогенные структуры эвгеосинклиналей. — Вестник МГУ, 1976, № 6, с. 3—26.

472. *Яковлев Г. Ф., Гончарова Т. Я., Данчин Ю. И.* Доорогенная металлогения эвгеосинклиналей. — Геология рудных месторождений, 1977, № 1, с. 106—110.

473. *Янов Э. Н.* Типы подвижных областей и стадии их развития. — Советская геология, 1977, № 4, с. 8—19.

474. *Яншин А. Л.* Проблема срединных массивов. — Бюлл. МОИП, отд. геол., 1965, т. XI, № 5, с. 8—39.

475. *Яншин А. Л.* Тектоническое строение Евразии. — Геотектоника, 1965, № 5, с. 7—35.

476. *Alliis M.* Methode d'Evolution des Rerspectives Economiques. de ia Racherche Miniére sur des Grands Especes. — Revue de l'Sudustrie Minirale, 1956, Rg 3, p. 329—382.

477. *Agterberg F. P., Chung C. F., Fabbri A. G., Kelly A. M., Springer J. S.* Geomathematical evaluation of copper and zinc potential of the Abitibi area, Ontario and Quebec. — Geol. Surv. Canada., 1972, Paper 71—41, p. 55.

478. *Armour—Broun A., Nichol J.* Regional geochemical reconnaissance and the Cocation of metallogenic provinces. — Econ. geol., 1970, № 3, p. 312—330.

479. *Barrakad A., Caia J.* Examples d'amas colaminaires en milieu subrecifal en bordure d'un socle paléózogue. — Notes et mem Serv. Geol. Maroc, 1973, № 254, t. 34, p. 151—159, il.

480. *Baumann L.* Zur Frage der varistischen und postvaristischen Mineralisation im sächsischen Erzgebirge. — Freiberger Forschungsh, 1967, C, № 209, s. 15—38.

481. *Baumann L.* Die Mineralparagenesen des Erzgebirges—Charakteristic und Genese. — Freiberger Forschungsh., 1968, C, № 230, s. 217—233.

482. *Baumann L., Tischendorf G.* Einführung in die Metallogenie—Mineralogenie. 1976. Leipzig, c. 460.

483. *Bilibin J. A.* Metallogenetic provinces and metallogenetic epochs. N. Y., 1968, p. 35, il.

484. *Blondel F.* Les lois Statistiques de la Repartition Geographique des Production Minieres. — Revue de l'Industric Minerale, 1956, Rg. 2, p. 319—327.

485. *Bostrom K., Peterson M. N. A.* Precipitates from hydrothermal exha-

lations on the East Pacific Rise. — Econ. geol., 1966, N 7, p. 1258—1265.

486. *Breithaupt A.* Die paragenesis des mineralien mineralogisch, geognostisch und chemisch belenchten, mit besonderer Ruchsicht aut Bergbau. Freiberg, 1849, s. 276.

487. *Carter W. D.* Structural geology and mineral—resources inventary of the Andes Mountains, South America. „Erts—I. A new window on our planet". Geol. surv. professional paper N 929, 1976, Washington, pp. 91—98.

488. *Cumming G. L., Robertson D. K.* Isotopic Composition of Lead from the Pina Point Deposit. — Econ. geol., 1969, N 64, p. 341—352.

489. *Derec G., Sarcia I. A., Troly G.* Consideration theoretiques sur le tritement de l'information en metallogenie. — Chonique de mines et recherche miniere, 1964, N 334, an. 32, p. 251—272.

490. *Evans A. M., Maroof S. I.* Basement controls on mineralization in the British Isles. — Mining Mag., 1976, N 5, p. 401—411.

491. *First* map of metal provinces in Alaska. — Skill. Mining Rev., 1974, v. 64, N 29, p. 10.

492. *Fonseca* Vaz Teodoro A. da Metalogenia. — Rev. Esc. minas, 1972, N 2, p. 21—45.

493. *Guild P.* Metallogeny: A key to exploration. — Mining Engineering, 1971, N 1, p. 1—4.

494. *Guild P.* Metallogeny and the new global tectonics. 1972, 24 IGG, sect 4, Monreal, p. 17—26.

495. *Guild P.* Massive sulphide deposits as indicators of former plate boundaries. U. S. Geol. Survey. Open—file report, 1973, p. 11.

496. *Guild P.* Application of Global Tectonic Theory to Metallogenic Studies. Geol. Survey of USA, 1974, p. 30.

497. *Guild P. W.* Metallogenesis in western United States. — J. geol. Soc. Lond., 1978, v. 135, pp. 355—376.

498. *Guild P. W.* Metallogenic maps: principles and progress. — Global Tectonics and metallogeny, 1978, v. 1, N 1, pp. 10—16.

499. *Geoffroy I., Wignall T. K.* A probabilistic appraisal of mineral resources in a portion of the Grenville Province of the Canadian Shield. — Econ. geol., 1971, N 3, p. 466—479.

500. *Geoffroy G., de Wignall T. K.* A statistical study of geological characteristics of porhyry — copper — molybdenit deposits in the Cordillerean Belt — application to the rating Porphyry prospects. — Econ. geol, 1972, N 5, p. 67.

501. *Geological* Survey professional paper, 1977, N 1015, USA, p. 370.

502. *Gilluly I.* Lineaments — ineffective guides to ore deposits. — Econ. geol., 1976, N 8, p. 1507—1514.

503. *Global* Tectonics and metallogeny, 1978, USA, v. 1, N 1, p. 122.

504. *Heyl A. V.* The 38 th parallel lineament and its relationship to ore deposits. — Econ. geol., 1972, N 7, p. 879—894.

505. *Hollister V. F.* Discussion for the manuscript of I. A. Noble: Metallogenic provinces of the Cordillera of western North and South America". — Miner. Deposita, 1977, N 2, pp. 239—240.

506. *Kutina I.* Structural control of volcanic ore deposits on the contact of Global Tectonics. — Bull. volcanolog., 1974, Italy, v. XXXVIII—4, p. 1039—1069.

507. *Jankovic S.* Osnovne postavke metalogenetskih analiza i izzade metalogenetskih karata ablasti i rejona.— Tehnika, 1973, N 4, c. 682—287.

508. *Janovici V., Radulescu D., Dimitresku, Krautner H., Mirauta O.* Harta metalogenetica a Romani ei, Scaro 1 : 250 000. St. cerc. Geol., Geogr,. Geol., 1966, II, N 2, c. 55—366, I m.

509. *Kahma A.* The main metallogenic features of Finland. Geological Survey of Finland, Otaniemi, 1973, Bull. 265, p. 28.

510. *Kranz R. L.* Participation of organic compounds in the transport of ore metals in hydrothermal solution. — Trans. Instn. Mining and Metallurgy, 1968, B. 77, p. 26—36.

511. *Kutina J.* The Hudson Bay Paleolineament and Anomalous Concentration of Metals along it. — Econ. geol., 1971, v. 66, p. 314—325.

512. *Kutina J.* Regularities in the Distribution of Hypogene Mineralization along Rift Structures. Monreal, 1972, 234 JGG, sec. 4, p. 65—73.

513. *Kutina J., Fabbri A.* Relationship of structural lineaments and mineral occurrences in the Abitibi area of Canadian shield. Geological Survey

of Canada, Paper 71—9, 1972, p. 36 and maps.

514. *Laffite P.* La métallogenia de la France. Bull. Geol. Geol. de France, 1966, VIII, p. 52—72.

515. *Lannay L. de.* Formation des gîtes mèt alifères on mètallogénie. Paris, 1892, 201 p.

516. *Lathram E., Gryc G.* Metallogenic significance of Alaskan geostructures seen from space. — Proc. 8th. Int. Symp. Remote Sensing Environ., Univ. Mich., 1972, v. 2, pp. 1209—1211.

517. *Lötzsch F.* Zur metallogenetischen Analyse des Südens der DDR. Zeitschrift für Südens der DDR. — Zeitschrift für Angewandte Geologie, 1968, Band 14, Heft 7, p. 338—355.

518. *Maucher A.* Die Antimon—Wolfram—Quecusiber Formation und ihre Beriehungen zu Magmatismus und Geotektonik.—Freiberger Forschungsh., 1965, N 186, s. 173—187.

519. *Metallogenic* — Mineragenetic Map of India (1 : 2 000 000). — Geological Survey of India, 1963, p. 26.

520. *Metallogeny* and global tectonics. — Ed. Walker W. N. Y., Halsted Press, pp. 415.

521. *Metallogeny* and plate tectonics in the northeastern Mediterranean. UNESKO, Belgrade, 1977, p. N 3, p. 560.

522. *Mikkola A., Vuorela P.* Deap—sected fractures and metallogeny of Finland. — Foult Tecton. Eastern Part Baltic Shield. Helsinki, 1977, pp. 73—87.

523. *Noble I. A.* The non—relation between metal provinces and the ores of plate tectonics in the western United States.—Schriftenr. Erdwiss. Kommis. Österr Akad. Wiss, s. a., I, pp. 25—28.

524. *Noble I. A.* Metal provinces and metal finding in the Western United States. — Mineral deposita, 1974, N 1, pp. 1—25.

525. *Otterman I., Lownan P., Salomonson V.* Surveying Earth Resources by Remote Sensing from Satellites. — Geophysical Surveys, 1976, v. 2, N 4, pp. 431—467.

526. *Petrascheck W.* Typical features of metallogenic provinces. — Econ. geol., 1965, v. 60, p. 1620—1634.

527. *Poutin G.* Mineralisation et tectonique des plaques. — Chron. rech. miniere, 1977, N 438, pp. 45—52.

528. *Ramovic M.* Principles of Metalogeny. Sarajeno, 1968, p. 272.

529. *Roberts R. J., Radtke A. S., Coats R. R.* Gold—bearing Deposits in the North—central Nevada and South—western Jdaho. — Econ. geol., 1971, v. 66, N 1, pp. 14—33.

530. *Rona P.* Plate tectonics and mineral resources. — Sci. Amer., 1973, N 1, p. 86—95.

531. *Routheir P., Brouder P., Fleischer R.* Some Major Concepts of Metallogeny. — Mineral Deposita, 1973, N 8, p. 237—258.

532. *Routhier P.* Vers un schéma unitaire de la metallogenie régionale. Sa portea theorigue et pratique. Propas an forme de manifest. — Chron. rech. miniére, 1977, N 436, pp. 11—22.

533. *Routhier P.* Sur trois principlas généraux de la Métallogénie et de la recherche minérala. — Mineral Deposita, 1969, N 2, pp. 213—218.

534. *Routhier P.* A new approach to metallogenic provinces the example of Europe. — Econ. geol., 1976, N 4, pp. 803—811.

535. *Salas G. P.* Relationship of mineral resources to linear features in Mexico as determined from Lansat data. — Geol. Survey prof. paper, 1977, N 1015, USA, p. 370.

536. *Sattran V. s Kolektivem autoru.* Problemy metalogenere Ceského masivu. Sborn. Geologicych vêb, uug. 1966, sv. 8, p. 7—112.

537. *Sawkins F.* Sulphide ore deposits in relation to plate tectonics. — Jorn. of Geology, 1972, N 4, p. 377—397.

538. *Sawkins F.* Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments. — I. of geology, 1976, v. 84, N 6, p. 653—671.

539. *Schmidt R.* Detection of hydrothermal sulphide deposits Saindak area, western Pakistan. — „Erts—I. A new window on our planet". — Geol. Surv. Prof. Pap., 1976, N 929, pp. 89—91. Washington.

540. *Shawe D. R., Stawart I. H.* Ore deposits as related to tectonics and magmatism. — Trans. Sec. Mining Eng. AIME, 1976, N 3, p. 225—232.

541. *Shcheglov A. D.* Main features of endogenous metallogeny of Pakistan. — Memoirs of gsp, 1970, v. 7, P. 12.

542. *Sillitoe R. A.* Relation of metal provinces in Western America to subduction of oceanic litosphera. — Bull.

Geol. Soc. Amer., 1972, N 83, p. 813—818.

543. *Silitoe R. A.* A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. — Econ. geol., 1972, v. 67, p. 184—197.

544. *Sillitoe R. A.* Metallogenic evolution of a collisional mountain belt in Pakistan. — Abstracts of 25 JGC, 1976, v. 3, p. 745.

545. *Sinelair A. I., Woodsworth J. I.* Multiple Regression as a Method of Estimating Exploration Potential in an Area of Nea Terrace. B. C. — Econ. geol., 1970, v. 65, p. 998—1003.

546. *Smirnov V. I.* Essays of Metallogeny. — Flushing, N. Y., 1971, p. 96.

547. *Spurr I.* A theory of ore deposition. — Econ. geol., 1907, N 2, p. 210—243.

548. *Suszczynski E. F.* Metallogenetic map of Brazil. — Brazol, 1973, p. 15 and map.

549. *The current* metallogenic problems of central Europe. — Editor I. Fedak, 1976, Warsaw., Poland, p. 396.

550. *Tischendorf G.* The metallogenetic basis of tin exploration in the Erzgebirge. — Trans. Inst. Min. Metall., 1973, 82, Febr.

551. *25th International* Geological Congress. 1976, Abstracts, v. 3, pp. 663—936.

552. *Warren R. G.* Notes to accompany the metallogenetic map of Australia. — Bureau of Mineral Resources of Australia, 1972, Record 56, p. 102.

553. *Watson B. N.* Large low grade silver deposits in N. America. — World Mining, 1977, N 3, p. 44—49.

Активизированные рамы геосинклинально-складчатых областей, их металлогения 238, 239, 242, 318, 319
Анализ диалектический (геологических явлений) 39—46, 399
— металлогенический 5, 6, 368—398
— формационный 93—115

Базальтовый слой 141—153

Вертикальная протяженность рудных тел 171
Волновая миграция 66

Геосинклинально-складчатые области 50, 51, 208—238
Геохимия региональная 131—138
Глобальная металлогения 340, 369
Глубинное строение 139—153
Гранитный слой 140—150

Дно морей и океанов 320—327

Закон геологический 41—42, 48
— металлогенический 42, 48, 83
Западноевропейский тип минерализации 303
Зональность
— региональная металлогеническая 82
— региональная вертикальная 93
— рудных провинций 82—93
— рудных поясов 82—93
— элементов-индикаторов 167
Зоны Беньофа 252, 253, 328—340
— структурно-металлогенические (металлогенические) 82, 185—200, 266

Источники рудного вещества 73
История Земли докембрийская 70—73

Карты металлогенические 32, 377
— прогнозные 33
— эрозионного среза 166—167
Кимберлитовые провинции 268
Классификация месторождений (на формационной основе) 102—107
— металлогенических структур 185—200
— рудоносных структур 185—200
Космические исследования 153
Критерии глубинности оруденения 167—169

Литохимические съемки 137

Масштабы рудоносных провинций 186—187
Металлогения
— общая 32
— вулканических поясов 244
— геосинклинально-складчатых областей 211
— геосинклиналей разных типов 226—232
— областей автономной тектоно-магматической активизации 271
— платформ 255
— пограничных структур 250
— региональная 32, 341—363, 369
— рудных районов 25, 32, 369
— тектонических элементов земной коры 48, 211
— срединных массивов 305
— щитов 257
Методические основы 39, 94
Методологические основы 39—46
Метод аналогий 176, 182
— геохимический 131
— формационного анализа (в металлогении) 93—99
Методы
— логико-информационный 108, 130, 180
— математические 108, 177—184
Металлогеническая зона (район) 187
—провинция (область) 59, 186, 187
— школа 21
Металлогенические исследования за рубежом 35
— карты 32—35
Металлогенический анализ 5, 40, 370
Метаморфогенное рудообразование 256, 257

Минерагения 11

Неомобилистский вариант теории геосинклиналей и металлогения 252—254
Новая глобальная тектоника 203, 204, 252, 327—340

Области автономной тектоно-магматической активизации 51—55, 271—305
— — — — главные особенности 275, 276
— — — — типы областей 279—285, 191, 292
— отраженной тектоно-магматической активизации, их металлогения 239—244, 250—252
Основоположники металлогенического анализа 18
Основы методические 39—46
— методологические 40

Планетарный металлогенический пояс 187
Платформы 208—210, 255—271
Поверхность Мохоровичича 143
Пограничные, краевые швы (разломы), их металлогения 250—252
Полицикличные геосинклинали, их металлогения 233—237
Признаки диагностические (рудных месторождений) 115—131
Принципы районирования 185
Провинции геохимические 132—133
— металлогенические 59
Прогноз — количественная оценка 175—184
— новых типов месторождений 382—393
Проблема рудных районов 393

Развитие моноцикличное 211
— направленное 210, 211
— полицикличное 210, 211, 234, 235
Размещение рудных месторождений в пространстве и во времени (основные закономерности) 46—73
Ревивация 272
Региональная металлогения 341
Рудная зона (район) 187
— формация 96, 99, 101, 104
Рудоносная формация 99
Рудный комплекс 101
— (металлогенический) пояс 187
Рудные пояса 84—93
— классификация 91
— замкнутые и фрагментарные 86, 87
Рудоконцентрирующие структуры 340
Ряды рудных формаций 102—108
— последовательности образования 385

Случайность 41, 43
Специализированные геологические формации 98
Специализация рудоносных структур 48, 186—200
Сравнительное изучение рудных месторождений 115—131
Срединные массивы 305
Стадия минерализации 118
Структурно-металлогенические зоны 191

Типы геосинклиналей 225—226, 230
— рудоносных площадей 186
— срединных массивов (металлогенические) 310—312
Тектоника плит 252, 327—340
Телетермальные месторождения 301, 302, 318

Учение о геосинклиналях 211

Флюоритовые месторождения (индикаторы процессов активизации) 294
Формационный анализ 93—99
Формации геологические 94
— абстрактные 94, 95
— конкретные 94, 95, 113
— рудные 99—115
— специализированные 98

Шельфовые зоны 218, 320—326
Эрозионный срез (методы его изучения) 165

Эволюция металлогеническая однотипных тектонических элементов 58, 59
Элементы геосинклиналей 89, 212
Эпиплатформенные орогенные пояса 205, 273
— периокеанические 205
— интракратонные 206

Предисловие 5

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Глава 1. Металлогения — самостоятельная отрасль геологических знаний. Советские ученые — основоположники металлогенического анализа. Металлогенические исследования за рубежом. 9

Глава 2. Методологические и методические основы регионального металлогенического анализа 39

Глава 3. Основные закономерности размещения рудных месторождений в пространстве и во времени 46

Глава 4. Региональная металлогеническая зональность 82

Глава 5. Роль формационного анализа при установлении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых. 93

Глава 6. Изучение рудных месторождений при региональном металлогеническом анализе 115

Глава 7. Региональная геохимия и металлогенический анализ . . . 131

Глава 8. Региональная геофизика и металлогенический анализ . . 139

Глава 9. Региональная металлогения и космические исследования . . 153

Глава 10. Эрозионный срез и перспективная оценка рудоносных территорий 165

Глава 11. Количественная оценка региональных металлогенических прогнозов 175

Глава 12. Принципы районирования и классификации рудоносных территорий 185

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ГЛАВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (МЕТАЛЛОГЕНИЯ РЕГИОНОВ)

Глава 1. О главных структурных элементах земной коры 202

Глава 2. Металлогения геосинклинально-складчатых областей . . . 211

Глава 3. Металлогения платформ 255

Глава 4. Металлогения областей автономной тектоно-магматической активизации 271
Глава 5. Металлогения срединных массивов 305
Глава 6. О металлогении дна морей и океанов 320
Глава 7. Новая глобальная тектоника и металлогения 327
Глава 8. Некоторые новые особенности региональной металлогении территории СССР 341
Глава 9. Дальнейшие пути развития металлогенического анализа и задачи региональных металлогенических исследований . . . 368
Заключение 400
Список литературы 406
Предметный указатель 428

АЛЕКСЕЙ ДМИТРИЕВИЧ ЩЕГЛОВ

ОСНОВЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Редактор издательства З. Д. Соломатина

Переплет художника В. В. Киреева

Художественный редактор Е. Л. Юрковская

Графики-иллюстраторы И. М. Воронкова,

Б. Д. Кондратьев

Технический редактор А. Г. Иванова

Корректор Л. В. Сметанина

ИБ № 3952

Сдано в набор 25.02.80. Подписано в печать 14.08.80.
Т-15157. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1.
Гарнитура «Литературная». Печать высокая.
Усл.-печ. л. 27,0. Уч.-изд. л. 30,47. Тираж 3200 экз.
Заказ 151/8116—4. Цена 4 р. 90 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картографическая фабрика
объединения «Аэрогеология»

3346