

Д. Г. САПОЖНИКОВ

ОСНОВЫ  
ПРОГНОЗА  
ОСАДОЧНЫХ  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Д. Г. САПОЖНИКОВ

558.068.  
558.3/4

ОСНОВЫ  
ПРОГНОЗА  
ОСАДОЧНЫХ  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

584



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»  
Москва 1972



Д. Г. Сапожников. Основы прогноза осадочных рудных месторождений. М., «Недра», 1972, 208 с.

Изложены основные особенности процессов выветривания и осадкообразования, приводящие к возникновению рудных накоплений; описан генезис месторождений железа, марганца, алюминия и других металлов, приводится характеристика рудных эпох для главнейших металлических ископаемых осадочного происхождения и разбираются основные предпосылки экзогенного рудообразования. Рассматриваются особенности размещения месторождений в стратиграфическом разрезе осадочных отложений, в пределах основных структурных элементов земной коры и в связи с фаціальными типами отложений, а также в зависимости от климатических условий минувших эпох и от палеогеоморфологических особенностей регионов. Изложены общие принципы и критерии, используемые при прогнозе территорий, перспективных для поисков осадочных, эффузивно-осадочных и гипергенных месторождений.

Книга рассчитана на геологов, ведущих поиски и разведку рудных месторождений в областях, сложенных осадочными породами, и на студентов старших курсов вузов.

Таблиц 18, иллюстраций 30, список литературы — 77 названий.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время все более необходимыми становятся работы по выделению площадей, перспективных для поисков месторождений различных полезных ископаемых. Они проводятся во многих районах нашей страны. Для поисков разных месторождений предложены конкретные поисковые критерии, составлены карты прогнозов и даны предположения, нередко подтверждающиеся удачными поисковыми и разведочными работами. Тем не менее это только начало, и перед геологами стоит задача по выявлению новых перспективных площадей для успешных поисков рудных месторождений магматогенного, осадочного и остаточного происхождения.

Автор, желая помочь геологам, занимающимся прогнозами осадочных месторождений, рассмотрел главнейшие геологические факторы, которые в совокупности создавали обстановку, благоприятную для образования рудных месторождений на поверхности суши и в море. Освещены также некоторые особенности осадочного и остаточного рудного процесса, учет которых необходим для правильного понимания генезиса месторождений и особенностей их локализации. Большое внимание уделено закономерностям размещения рудных месторождений в осадочных толщах и в пределах основных структурно-тектонических элементов земной коры. Обобщены материалы, касающиеся условий локализации месторождений, образовавшихся преимущественно первичноосадочным путем в ходе седиментогенеза.

В заключительной части излагаются элементы методики и критерии, используемые при прогнозе территорий, перспективных для поисков важнейших типов месторождений. Некоторые из этих критериев можно использовать не только для прогноза, но и при проведении поисковых работ, а также для направления разведки на отдельных месторождениях.

В книге не приводятся методические указания и частные методики, необходимые при составлении карт прогноза того или иного конкретного масштаба. Однако сведения и рекомендации, содержащиеся в ней, можно использовать при проведении прогнозных работ разной деятельности.

Автор попытался рассмотреть только главные геологические факторы, представляющие наибольший интерес. Опущено описание геофизических и геохимических методов, используемых при работах по прогнозу. Однако в соответствующих разделах имеются указания на необходимость использования геохимических данных, карт геофизических аномалий и результатов других видов геофизических работ для уточнения прогнозных заключений.

Рассмотрение всех основных вопросов прогноза ведется нами применительно к условиям локализации месторождений в пределах складчатых областей и верхнего структурного этажа платформ. Объем книги не позволил включить в нее широко известные данные и сведения, которые могут быть найдены в руководствах по литологии или петрографии осадочных пород и должны учитываться при прогнозах. В то же время мы вынуждены остановиться на некоторых специфических особенностях рудообразования, дать описание рудных формаций, рассмотреть ассоциации минеральных и рудных накоплений, охарактеризовать рудовмещающие и другие формации и т. п. Уделено внимание описанию физико-химических процессов, таких как сорбция металлов различными природными веществами, процессам окисления и восстановления, гидратации в природных условиях и т. п. Рассмотрены условия, при которых происходит переотложение рудного вещества в ходе диагенетических и катагенетических процессов.

В книге описаны элементы прогноза не только седиментационных, но и диагенетических и катагенетических месторождений, а также остаточных рудных накоплений коры выветривания, которые во многом близки осадочным месторождениям.

Осадочные месторождения различных руд часто не ассоциируют друг с другом, как магматогенные месторождения, сообщества которых позволяют выделить особые рудные районы. Например, осадочные марганцевые месторождения юга европейской части СССР не ассоциируют с месторождениями других металлов. В связи с этим в основу прогноза положен тип рудного месторождения, например, медистые песчаники, геосинклинальные бокситы, вулканогенно-осадочные месторождения марганца и т. п. Тем самым наш

подход к прогнозу принципиально отличен от принятого другими исследователями (Шаталов и др., 1964; Орлова и Шаталов, 1963), разработавшими принципы прогноза и составления металлогенических и прогнозных карт рудных районов и эндогенных месторождений.

## ВВЕДЕНИЕ

На земной поверхности и в верхней части земной коры постоянно происходит разрушение различных материнских пород. Часть материала, слагающего материнские породы, остается на месте, относительно накапливается за счет выноса других компонентов и дает начало различным остаточным образованиям. Другая, неизмеримо большая часть минеральных веществ переносится на более или менее значительное расстояние и отлагается в областях осадконакопления. В ходе этих процессов из состава материнских пород обособливаются рудные элементы и минералы, а также другие компоненты. В дальнейшем они могут накапливаться, давая рудные концентрации, и при этом возникают остаточные месторождения, связанные с корой выветривания, или же первичноосадочные — седиментационные месторождения. Наряду с этим рудные компоненты могут рассеиваться, смешиваясь с другими минеральными образованиями, и входить в виде ничтожной примеси в состав вновь формирующихся пород.

Месторождения, возникшие под влиянием внешних сил на поверхности земли или в верхней части земной коры, называются экзогенными. В самой общей форме можно сказать, что различные осадочные месторождения образуются в результате накопления рудных компонентов при движении минеральных масс на земной поверхности, осуществляющемся под влиянием экзогенных факторов. Рудообразование, рассматриваемое с таких общих позиций, весьма близко к процессу формирования различных экзогенных пород. Однако при конкретизации условий и обстановки накопления отчетливо выступает разница между экзогенными рудами и породами.

По условиям образования экзогенные месторождения можно разделить на несколько типов. Среди них выделяются остаточные месторождения, с одной стороны, и осадочные — с другой.

Особое положение занимает группа вулканогенно-осадочных месторождений, образующихся в результате накопления эндогенного по природе минерального вещества, вынесенного на земную поверхность в результате вулканических извержений или родственных им процессов.

- А. Остаточные
  - 1. Латеритные и другие в коре выветривания
  - 2. Зоны окисления магматогенных месторождений
  - 3. Контактво-карстовые и другие инфильтрационные
- Б. Осадочные
  - 1. Первичноосадочные (седиментационные)
  - 2. Диагенетические
  - 3. Катагенетические
- В. Вулканогенно-осадочные
  - 1. Гидротермально-осадочные
  - 2. Эксгальционно-осадочные

Остаточные месторождения первой группы (А) образовались в результате процессов химического выветривания коренных пород, выноса из них легкорастворимых соединений и накопления на поверхности устойчивых, ранее существовавших и вновь сформированных минеральных образований. Сюда относятся все остаточные элювиальные рудные концентрации коры выветривания, такие как элювиальные россыпи, богатые железные руды, сформированные за счет выветривания железистых кварцитов, накопления железа и марганца латеритного типа, латеритные бокситы, месторождения силикатного никеля и кобальта и некоторые другие, составляющие первую подгруппу.

Вторая подгруппа остаточных месторождений включает месторождения, возникающие также в коре выветривания, но в особых условиях зоны окисления полиметаллических и некоторых других эндогенных месторождений. Характерными представителями подобных месторождений являются широко известные железные шляпы ряда горнопромышленных районов.

К третьей подгруппе относятся рудные залежи, образованные в результате инфильтрации и аккумуляции рудных элементов при выветривании в специфических условиях карстообразования. Это контактово-карстовые месторождения, встречающиеся в карстовых воронках и подземных карстовых полостях на контакте главным образом известняков и доломитов с породами другого состава.

Широко известные инфильтрационные месторождения относятся в основном к категории катагенетических месторождений нашей схемы.

Осадочные месторождения образуются в результате процесса отложения рудных компонентов на земной поверхности или возникновения их в дальнейшем в ходе диагенетических и катагенетических процессов. Главное место занимает подгруппа первичноосадочных, или седиментационных, месторождений. Это многочисленные россыпи, месторождения бокситов, осадочных руд железа, фосфора и многих других элементов, отложившиеся в руслах рек, на дне морей или озер и в других условиях.

Ко второй группе принадлежат месторождения, на которых рудные тела возникли при превращении осадка в породу, в стадию диагенеза. Сюда относятся многие рудные тела конкреционного типа, а иногда пластовые залежи, например сидеритовые руды, связанные с угленосными толщами.

Третья подгруппа включает месторождения, сформировавшиеся в ходе катагенетических (эпигенетических) процессов. В эту подгруппу объединяются рудные залежи прихотливой формы, образовавшиеся после полного формирования вмещающих пород, широко известные на месторождениях медистых песчаников, осадочных урановых и некоторых других руд.

Вулканогенно-осадочные месторождения объединены в третью группу. Они еще недостаточно изучены, но тем не менее среди них могут быть выделены гидротермально-осадочные и эксгаляционно-осадочные месторождения.

## КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

### ЗНАЧЕНИЕ КЛИМАТА ПРИ ВЫВЕТРИВАНИИ И ОБРАЗОВАНИИ ОСТАТОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Субполярная область.* В условиях низкой среднегодовой температуры и вечной мерзлоты процессы выветривания протекают малоактивно и носят специфический характер. Наибольшее значение имеют термоденудация и солифлюкционные явления, приводящие к разрушению материнских пород. Химическое выветривание проявляется своеобразно. Грунтовые воды располагаются в непосредственной близости от поверхности земли и имеют застойный характер. Это затрудняет доступ кислорода в почву и материнские породы. Органическое вещество разлагается лишь частично, вследствие чего образуются только такие органические кислоты, как уксусная, муравьиная и некоторые другие низкомолекулярные. Формирование типичных для почвы гуминовых и фульвокислот затруднено и осуществляется в ограниченных количествах. В зоне окисления рудных месторождений развиты процессы сульфатизации и накапливаются сульфатные минералы. Разрушение силикатов осуществляется не полностью; конечными продуктами разложения их являются преимущественно гидрослюда, реже каолинит и некоторые другие минералы.

Однако выветривание идет в заметных масштабах, и скальные породы, кажущиеся монолитными и прочными, при оттаивании рассыпаются на мелкую щебенку. Характер продуктов выветривания в субполярной области изучен еще недостаточно, чтобы иметь суждение о свойствах коры выветривания. Не изучен также состав рудных элементов, преимущественно выносимых из коры выветривания и поступающих в грунтовые воды и в речную сеть.

Субполярная область довольно богата месторождениями осадочных полезных ископаемых. Сюда относятся прежде всего месторождения россыпного золота. «Такие крупнейшие золотороссыпные районы мира, как Аляска, Колыма, Индигирка, Алдан, Лена, Енисей, Северный Урал располагаются в пределах разновозрастных

тектоно-магматических комплексов, но в равной мере тяготеют к северным широтам» (Шило, 1956, стр. 12).

В пределах описываемой области известны многочисленные россыпи алмазов, касситерита и других минералов. Кроме того, здесь и в прилегающих частях зоны умеренного климата в больших масштабах идет формирование залежей сапропеля и торфяников. Во многих из них торф содержит повышенные концентрации редких элементов. В пресных озерах за Полярным кругом иногда наблюдается отложение железных и железомарганцевых руд.

В полярной климатической зоне под покровом вечного льда выветривание, по-видимому, почти прекращается. Конкретные формы выветривания и минеральные продукты его, развивающиеся здесь по материнским породам, изучены крайне слабо.

*Область умеренного влажного климата.* Процессы выветривания протекают достаточно напряженно. На начальных стадиях выветривание имеет щелочной характер. Условия щелочной среды вызваны тем, что материнские породы еще мало изменены и содержат щелочные и щелочноземельные металлы. Последние постепенно поступают в поверхностные и грунтовые воды и образуют с углекислотой, растворенной в них, ряд основных соединений, обладающих высокой активной реакцией.

В дальнейшем, когда главная масса оснований удалена из почвы и из верхней части коренных пород, в зоне выветривания начинают доминировать условия кислой среды. Они возникают под влиянием свободной углекислоты, накапливающейся в грунтовых водах, а также большого количества органических кислот, гуминовых, фульвокислот и других, просачивающихся из почвенного слоя.

*Область тропического влажного климата.* В тропической зоне данной области химическое выветривание идет особенно напряженно. Этому способствуют, помимо высокой температуры и постоянного интенсивного увлажнения, также активная роль углекислоты и большого количества органических соединений, получающихся при разложении пышной тропической растительности. Постоянно происходит промывание почвы и верхних горизонтов материнских пород, сопровождающееся выносом из них всех в какой-то степени подвижных компонентов. Характерно, что главная часть органического вещества полностью разлагается и постепенно выносится из почвы. В связи с этим создается ясно выраженная окислительная обстановка при кислой среде. Почва и кора выветривания приобретают красный цвет за счет окисления соединений железа, находящихся в материнских породах. Разрушение силикатов идет весьма интенсивно, причем выделяются кремнекислота, глинозем и ряд более подвижных соединений. Последние быстро выщелачиваются и захватываются водой. Из коры выветривания выносится часть кремнекислоты силикатов. Ю. К. Горецкий (1960) показал, что глинозем, освободившийся в результате разрушения силикатов в коре выветривания, обладает подвижностью в ее пре-

делах, причем на ранних стадиях разложения часть алюминия выносится, однако главная масса его сохраняется в коре.

Возникают новые ассоциации главным образом минералов глин, представленные на начальных стадиях выветривания полевошпатовых пород гидрослюдами, а на более поздних преимущественно каолинитом. В особо благоприятных условиях каолинит может непосредственно образовываться на материнских породах, минуя стадию гидрослуд.

*Область с периодической сменой сухих и влажных сезонов.* В этой области в течение года происходит достаточно резкое изменение условий выветривания. За время влажного периода через почву просачивается большое количество воды и происходит вынос оснований из почвы и верхней части материнских пород в более глубокие горизонты. Периодическое увлажнение и высыхание способствуют разрушению и выветриванию пород. Разложение материнских пород сопровождается выносом кремнезема, в то время как полуторные окислы накапливаются в больших количествах. В сухое время года идет испарение влаги, подтягивание ее к поверхности и обратная миграция полуторных окислов из глубины в верхние горизонты материнских пород и даже в почву. В результате коренные породы чрезвычайно сильно переработаны и превращены в своеобразную остаточную породу, обладающую пестрой окраской и состоящую из коллоидных гидратированных окислов полуторных элементов, главным образом железа и алюминия. Это латерит — порода, мягкая в свежем состоянии и быстро каменеющая при высыхании. Она пронизана многочисленными причудливыми порами и местами содержит сферолитовые включения, обладающие концентрическим сложением. С поверхности остаточные образования покрыты бурой и черно-бурой каменистой коркой — кирассой. Приведенная схема образования латеритов встречает некоторые возражения. Однако до сих пор не предложено удовлетворительной концепции, объясняющей особенности процесса локализации глинозема в коре выветривания и генезис латеритов.

Накопление глинозема в латеритах зачастую настолько возрастает, что они превращаются в кондиционный боксит.

Изменение состава материнских образований при выветривании этого типа можно проиллюстрировать на примере разреза коры выветривания серицит-хлоритовых известковистых сланцев в районе бокситового месторождения Моринимая в хребте Ниандан-Банье (Гвинея), изученного Б. М. Михайловым (табл. 1).

Этот же процесс, но в гораздо более резко выраженной форме хорошо продемонстрирован А. Т. Эбботтом (Abbott, 1958) и С. Петерсоном. Они показали, что в результате выветривания на о. Кауаи (Гавайские острова) идет глубокое химическое разложение оливинового базальта, сопровождающееся накоплением алюминия, железа, титана и выносом кремнезема, фосфора и оснований (табл. 2).

Среднегодовая температура на Гавайях отличается небольшими колебаниями. Для самого жаркого месяца (августа) она составляет

21—25° С, для наиболее холодного (февраля) — 18—21° С. Остров находится в зоне пассатных ветров, дующих с марта по декабрь и приносящих главную массу осадков. В январе — феврале дуют южные и юго-восточные ветры. Они приносят меньше влаги, выпадающей не в тех районах, где разгружается главная масса осадков, приносимых пассатами. Образцы для анализа (см. табл. 2) взяты в области, где выпадает 1400—2500 мм осадков в год. Из табл. 2 видно, что в продуктах современного выветривания оливиновых базальтов о. Кауаи содержится почти в 6 раз больше глинозема (59,67%), чем в материнских породах (9,69%).

Таблица 1

**Химический состав пород коры выветривания (в %), развитой на серицит-хлоритовых известковистых сланцах (по Б. М. Михайлову)**

Зона	Глубина взятия образца, м										П. п. п.
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
Латеритных бокситов . .	1	1,54	1,21	46,28	32,21	—	—	—	—	—	20,73
То же . . . . .	9	2,09	0,93	52,99	18,93	—	—	—	—	—	24,84
Бокситовых глин . . . .	20	24,72	0,61	20,95	41,64	—	—	—	—	—	11,30
Осветленная . . . . .	30	40,36	0,80	27,86	18,50	0,28	—	0,14	0,13	1,46	11,09
Выщелачивания . . . .	40	62,64	0,65	16,29	8,36	—	—	—	—	—	12,10
Серицит-хлоритовый известковистый сланец (материнская порода) .	55	53,23	0,68	14,18	1,68	4,96	8,60	2,02	3,05	1,75	9,69

Таблица 2

**Химический состав (в %) продуктов выветривания оливинового базальта о. Кауаи (Abbott, 1958)**

Стадия выветривания	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	П. п. п.
Первая . .	41,85	9,69	14,58	1,82	0,59	12,06	11,71	1,19	0,15	—
Вторая . .	42,03	10,55	14,36	1,99	0,51	11,69	10,01	0,79	0,09	1,27
Третья . .	0,75	42,44	23,55	3,79	0,34	—	0,15	0,05	0,06	26,65
Четвертая .	3,75	59,67	2,25	1,06	0,17	—	0,04	—	0,08	32,40

Латеритные образования в зависимости от состава материнских пород обогащены либо железом (в случае ультраосновных пород), либо алюминием (чаще всего в случае щелочных пород), и представляют собой типичные рудные накопления. Хорошим примером является железорудное месторождение Конакри в Гвинее, где накопление металла связано с процессом латеритного типа, развивающимся на ультраосновных породах. Латеритные бокситы распространены непосредственно с поверхности на огромных площадях в Африке, Индии, Бразилии и Австралии. Значительный интерес представляет комплексное месторождение бокситов, связан-

ное с эоценовым выветриванием сиенитовых пород в штате Арканзас (США). Здесь одним из главных типов руды являются остаточные латеритные бокситы, сформировавшиеся на нефелиновых сиенитах (рис. 1).

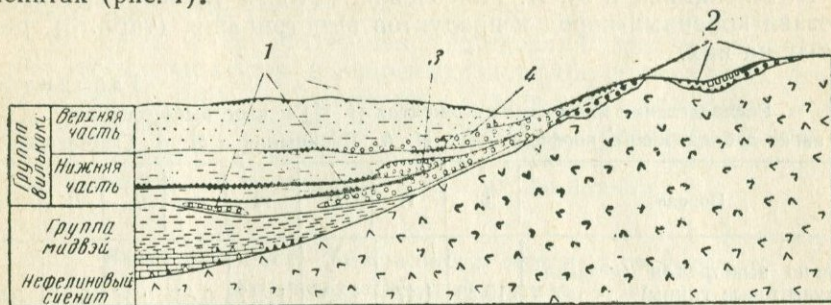


Рис. 1. Обобщенный профиль важнейших типов залежей бокситов в штате Арканзас (по М. Гордону и Д. Треси)

1 — остаточный тип залежей на нефелиновом сиените; 2 — коллювиальный тип залежей у основания нижней части группы вилькоккс; 3 — слоистый тип залежей в нижней части группы вилькоккс; 4 — конгломератовый тип залежей, базальный слой верхней части группы вилькоккс.

*Область субтропического влажного климата.* Процессы выветривания развиваются по той же схеме, что и в случае влажной тропической климатической зоны, но менее интенсивно. Меньшее количество выпадающих осадков и слабее идущие процессы разрушения органического вещества обуславливают частичное сохранение его в почве. В результате в почвенном слое, коре выветривания и грунтовых водах господствует кислая реакция, но создаются менее окислительные условия, чем в тропической зоне. Железо приобретает подвижность и частично выносятся из почв. Породы же коры выветривания в меньшей степени подвергаются окислению. Они не всегда окрашены в красный цвет и характеризуются различной, чаще всего пестрой окраской. Выветривание протекает медленно. Разрушение силикатов материнских пород обычно завершается образованием минералов глин, которые вполне устойчивы. Наблюдаются повышенные содержания алюминия и железа в коре выветривания, однако здесь не происходит такого накопления свободных гидратов окиси алюминия и железа, как в корях выветривания тропического пояса. Кора выветривания сложена в основном минералами глин, состав которых во многом зависит от состава материнских пород. Формирование глинистых минералов происходит постепенно. Так, при выветривании кислых пород на первых стадиях преобладают гидрослюды, которые в дальнейшем переходят в каолинит (по И. И. Гинзбургу). Наиболее распространенным минералом в коре выветривания этой зоны является каолинит, вследствие чего ее можно назвать каолиновой. В СССР кора выветривания этого типа развита на территории субтропической области Закавказья, близ г. Батуми. Здесь при среднегодовой

температуре около  $+13^{\circ}\text{C}$  и годовых осадках около 2500 мм происходит интенсивное выветривание материнских пород. Изменения их подробно изучены многими исследователями, в том числе Н. А. Лисицыной и М. А. Глаголевой, которые провели сравнение состава коренных пород и продуктов выветривания (табл. 3), разлитых на них.

Таблица 3

Распределение химических элементов (в %) в коре выветривания авгит-лабрадорového порфирита (по Н. А. Лисицыной и М. А. Глаголевой)

Порода	Si	Ti	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na
Сильно выветрелая (метагалаузитовые глины) . . . . .	15,23	1,47	13,9	11,17	0,46	0,66	0,21	0,06
Слабо выветрелая (метагалаузит-хлоритового состава) . . . . .	17,99	0,60	11,36	8,51	1,14	2,23	1,06	0,13
Авгит-лабрадорový порфирит (свежий) . . . . .	21,18	0,56	9,36	6,42	7,0	3,41	1,65	1,63

Несмотря на то что выветривание в Закавказье протекает значительно слабее, чем в тропических областях, изменение породы имеет сходный характер. В коре выветривания накапливаются титан, железо и алюминий; выносятся кремнекислота, магний и особенно интенсивно кальций и щелочи.

Известное представление об изменении содержания элементов в процессе образования коры выветривания в описываемой зоне можно получить на примере современного выветривания кварцевых порфиров из префектуры Шига в Японии, детально изученных К. Суда (Suda, Matsuzawa, 1958). Условия выветривания определяются среднегодовой температурой  $13,7^{\circ}\text{C}$ , количеством выпадающих осадков 1594 мм и химически нейтральной средой. В результате выветривания в этой обстановке кварцевый порфир заметно меняет состав (табл. 4).

Таблица 4

Химический состав (в %) кварцевого порфира и продуктов его выветривания (Suda, Matsuzawa, 1958)

Кварцевый порфир	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Сумма
Свежий . . . . .	73,78	13,45	0,14	1,20	0,18	1,41	Сл.	3,03	4,26	0,03	0,30	1,02	0,25	99,05
Частично выветрелый . . . . .	72,23	14,77	0,61	0,39	0,17	0,26	Сл.	2,32	4,38	0,02	—	2,89	1,42	99,46
Сильно выветрелый . . . . .	69,02	17,39	0,63	0,27	0,18	Сл.	Сл.	0,24	3,38	0,02	—	4,07	1,21	96,41

Из него выносятся такие составные части, как кремнекислота (в небольшом количестве), закисное железо, окись кальция, щелоч-

ные металлы. Титан и марганец сохраняются в том же количестве, что и в исходной породе. Продукты выветривания немного обогащаются глиноземом, окисным железом и водой. Не осуществляется заметной аккумуляции свободного глинозема. Накопление остаточных продуктов происходит в гораздо меньших масштабах.

К. Суда и И. Матсузава исследовали изменения содержания малых элементов в кварцевом порфире и продуктах его выветривания (табл. 5). Выяснилось, что из числа элементов, для которых имеются определения, из кварцевых порфиров при выветривании выносятся стронций, церий и лантан. В содержании остальных элементов не происходит заметных изменений.

Таблица 5

**Малые элементы (в %) в кварцевом порфире и продуктах его выветривания (Suda, Matsuzawa, 1958)**

Кварцевый порфир	BaO	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	SrO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PbO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
Свежий . . .	0,13	0,0004	0,001	0,0005	0,04	0,003	0,003	0,06	0,004	0,03	0,0002	0,02
Частично выветрелый . . .	0,14	0,0004	0,001	0,0005— 0,001	0,036	0,006	0,003	0,04	0,002	0,03	0,0002	0,05
Сильно выветрелый	0,16	0,0004	0,001	0,001	0,021	0,01	0,003	0,02	0,0007	0,013	0,0002	0,05

С корой выветривания этого типа связываются россыпи, месторождения железа, силикатного никеля и кобальта. В седиментационных комплексах, связанных с ней, могут формироваться месторождения железных и марганцевых руд, бокситов, редких и рассеянных элементов, а из нерудных — каолиновые глины, кварцевые пески и др.

*Область засушливого климата.* Напряженность процессов выветривания и связанного с ним рудообразования значительно ослабевает. Прежде всего резко уменьшается количество воды, участвующей в годовом круговороте. Соответственно с этим замедлены процессы химического выветривания. Преобладает механическая дезинтеграция, которая развивается в результате действия временных потоков, а также под влиянием других факторов (ветровая эрозия, десквамация, морозное выветривание и др.).

Основными факторами переноса являются поверхностные воды временных потоков, которые сносят в пониженные места продукты механической дезинтеграции и отлагают здесь обломочный материал. Временные потоки сгружают минеральный материал в форме конусов выноса. В зоне предгорий конусы выноса рек и временных потоков сливаются вместе, образуя почти непрерывный шлейф пролювиально-делювиальных образований. В этих накоплениях относительно слабо проявляется механическая дифференциация. В поверхностных водах почти все время господствуют условия щелочной среды, вследствие чего подвижность ряда элементов ничтожна.

Соединения железа, алюминия, в меньшей мере марганца и некоторых других элементов не способны в этих условиях переходить в раствор и мигрировать хотя бы в самой незначительной степени. С другой стороны, многие элементы, такие как уран, ванадий и некоторые другие, сохраняют подвижность и могут перемещаться как в поверхностных, так и в грунтовых водах. Медь также мигрирует, возможно, в форме щелочно-бикарбонатных соединений.

В области жаркого сухого климата могут образовываться рудные месторождения различного типа. Особенно характерны для нее делювиальные россыпи и специфическое семейство осадочных месторождений, включающее медистые песчаники, а также близкие по типу руды ванадия и урана. В озерных водоемах накапливаются соли, содержащие примесь редких и рассеянных элементов.

### СОСТАВ МАТЕРИНСКИХ ПОРОД

Остаточные руды представляют собой сохранившуюся на месте кору выветривания материнских пород, обогащенную полезным компонентом. В связи с этим понятно, что материнские породы играют основную роль при формировании остаточных месторождений, определяя состав руды, содержание в них металла, наличие примесей и в известной мере их структурно-текстурные особенности. Эти соотношения позволяют рассматривать благоприятный состав материнских пород в качестве одного из необходимых условий для формирования месторождений описываемого типа.

Можно привести многочисленные примеры, демонстрирующие зависимость основных типов рудных концентраций от особенностей материнских образований. Так, богатые железные руды КМА образуются только на железистых кварцитах курской серии нижнего протерозоя, которые содержат около 30% железа и сами, по сути дела, являются бедной рудой. В коре выветривания гипербазитов, отличающихся высоким содержанием железа, образуются железные руды зоны охр. Элювиальные россыпи образуются обычно за счет выветривания материнских пород, содержащих в рассеянном состоянии рудные минералы. На породах, богатых алюминием, таких как нефелиновые сиениты, отдельные разновидности метаморфических сланцев и некоторые другие, преимущественно происходит формирование латеритных бокситов.

Выясняется также, что возникновение рудных концентраций в большинстве случаев зависит от содержания полезного компонента в исходной породе: остаточные руды обычно не возникают за счет металла, рассеянного в материнских породах в количествах, близких к кларку.

*Как правило, только при повышенных первичных содержаниях полезного компонента в материнской породе образуются месторождения коры выветривания.*

Согласно имеющимся данным концентрация некоторых металлов (Fe, Ti, Al и др.) возрастает в ходе элювиального процесса обычно в 3—4 раза. Так, нефелиновые сиениты о. Касса, расположенного близ Конакри (Гвинея), содержат 17,5% глинозема, а в бокситах, представляющих собой результат их выветривания, содержание этого компонента возрастает до 56% (Г. В. Писемский). По данным того же автора, в коре выветривания долеритов Гвинеи содержится 42,7% глинозема против 12,8% в исходной породе. Содержание  $Fe_2O_3$  в этих же долеритах составляет 7,6%, а в коре выветривания их достигает 32,5%. В свежих невыветрелых серпентинитах одного из районов СССР среднее содержание никеля составляет около 0,3%, а в остаточных силикатных рудах возрастает до 1,2—1,5%.

Гораздо реже создаются такие условия, при которых осуществляется значительно более высокая концентрация рудных элементов. Так, при выветривании дунитов полуострова Колум в Гвинее установлено увеличение содержания железа более чем в 11 раз (Г. В. Писемский). На бокситовом месторождении Вайпа (полуостров Йорк в Северной Австралии) кондиционные бокситовые руды образованы за счет химического разложения при выветривании песчаников, содержащих всего лишь 4% алюминия (С. Петерсон). Наряду с этим известны случаи, когда содержание алюминия при формировании бокситов возрастает всего лишь в 2—2,5 раза. Такое явление имеет место при выветривании одной из разновидностей протерозойских сланцев КМА (табл. 6), описанном В. Н. Клекль. Из табл. 6 виден характер изменений содержания различных компонентов при образовании остаточных бокситов. Сопоставление указывает на значительное увеличение содержания глинозема в интервале глубины около 40 м (от 23,5 до 64 м), охватывающем несколько зон коры выветривания кварц-серицитовых филлитовидных сланцев. Лишь в верхней зоне — зоне дебокситизации, где большую роль играют более поздние процессы, наложенные на кору выветривания, происходит некоторое уменьшение содержания  $Al_2O_3$ . В коре выветривания возрастает также содержание титана, некоторых других элементов и связанной воды. Все эти компоненты не включены в таблицу, чтобы ее не перегружать. Что касается кремнекислоты и щелочных металлов, то содержание их постепенно уменьшается от материнских пород вверх по разрезу коры выветривания. Лишь в самых верхних горизонтах ее наблюдаются отклонения от этой тенденции, обусловленные вторичными процессами, среди которых значительную роль играет дебокситизация. Что касается окисного и закисного железа, то в суммарном содержании их не наблюдается закономерных изменений. Содержания компонентов в граммах на кубический сантиметр породы (см. табл. 6) вычислены с помощью метода абсолютных масс. Сопоставление этих цифр позволяет судить о том, какое количество соединений того или другого элемента привнесено или вынесено при образовании конкретной породы по сравнению с содержанием его в материнских

образованиях. Эти данные имеют большое значение для понимания геохимии рудного процесса.

Таблица 6

Изменение содержаний некоторых компонентов в коре выветривания углистых кварц-серицитовых филлитовидных сланцев КМА (по В. Н. Клеблю)

Зона, подзона	Глубина, м	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> в кварце	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в гибсите	
Латеритная: а) верхняя, дебокситизации	0,8	45,31	15,01	12,09	3,05	1,00	0,0	71,8	
		0,851	0,282	0,227	0,057	0,019			
	0,4	52,70	8,67	7,94	2,03	0,57	0,0	86,0	
		0,964	0,159	0,145	0,037	0,01			
	»	4,9	48,93	10,15	8,46	3,65	0,90	0,0	82,3
			0,905	0,188	0,156	0,068	0,017		
	»	12,7	54,98	5,75	6,36	2,97	0,02	0,0	91,1
			1,078	0,113	0,125	0,058	0,004		
	»	15,9	46,43	10,36	14,67	3,79	0,36	0,0	81,0
			0,980	0,219	0,310	0,080	0,008		
	»	18,4	46,30	11,20	13,81	2,88	0,63	0,0	79,5
			0,903	0,218	0,269	0,056	0,012		
в) нижняя, бокситовых пород	21,0	41,59	28,31	7,04	2,77	1,26	0,0	42,2	
		0,769	0,524	0,130	0,051	0,023			
»	23,5	44,15	23,42	6,89	2,19	1,43	0,0	55,0	
		0,826	0,438	0,129	0,041	0,027			
Гидролюдисто-каолинитовая	37,0	33,83	39,36	5,75	3,44	3,54	0,0	0,0	
		0,626	0,728	0,106	0,064	0,065			
Гидролюдистых рыхлых филлитовидных сланцев	40,0	29,81	39,87	5,37	5,61	7,73	0,0	0,0	
		0,557	0,746	0,100	0,105	0,144			
То же	46,0	28,54	37,80	8,68	6,57	6,30	0,0	0,0	
		0,571	0,756	0,174	0,131	0,126			
Окварцованных филлитовидных сланцев с кварцем	64,0	21,09	59,45	2,31	4,52	4,65	15,0	0,0	
		0,485	1,367	0,053	0,104	0,107			
То же	78,7	22,29	58,72	1,60	4,71	4,82	18,0	0,0	
		0,544	1,433	0,039	0,115	0,118			
Незатронутых выветриванием филлитовидных сланцев с кварцем	92,4	19,12	58,76	4,87	4,19	4,00	22,0	0,0	
		0,486	1,492	0,124	0,106	0,102			
То же	123,0	21,23	54,57	4,58	3,32	5,12	20,0	0,0	
		0,577	1,484	0,125	0,090	0,139			

Примечание. Числитель — содержание в вес. %, знаменатель — в г/см<sup>3</sup>.

## ЗНАЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Глубокое химическое разложение горных пород, необходимое для формирования коры выветривания и остаточных рудных месторождений, осуществляется только в пределах определенных элементов рельефа земной поверхности. Оптимальные условия для образования коры выветривания создаются в областях относительно пониженных плато, а также поверхностей выравнивания и слабосхолмленных равнин, расположенных на умеренной высоте над уровнем моря. Важное значение имеет интенсивное и глубокое расчленение местности долинами речной сети. Уровень грунтовых вод располагается в таких районах довольно глубоко, что способствует интенсивному просачиванию поверхностных вод в толщу материнских образований и активному промыванию их. Атмосферные агенты, в частности кислород и углекислота, способны в этих условиях проникать на большую глубину и вместе с водой осуществлять химическое разложение исходных пород. Постоянный свободный отток грунтовых вод, обусловленный низким положением базиса эрозии речных артерий, способствует выносу растворимых продуктов выветривания за пределы толщи, затронутой элювиальным процессом.

В высокогорных областях, где резко преобладает механическое разрушение горных пород, элювиальный процесс несомненно имеет место, однако он подавлен физическим выветриванием, речной эрозией и ледниковой абразией. В таких условиях не могут формироваться мощные кора выветривания и остаточные рудные месторождения. Для образования их неблагоприятны также равнины, располагающиеся на незначительной высоте над уровнем моря, и различные низины, являющиеся областями накопления осадков. Здесь зеркало грунтовых вод располагается близко от поверхности земли, что порождает слабый водообмен и зачастую заболачивание местности. В таких условиях затруднено проникновение атмосферных агентов на значительную глубину и, кроме того, продукты разложения минералов не выносятся из материнских пород. Возрастает концентрация их в грунтовых водах, что снижает скорость химических реакций, обуславливающих разложение минералов, и может привести к почти полному прекращению их. Наряду с этим материнские породы, подвергающиеся воздействию агентов химического выветривания, быстро перекрываются слоями более молодых осадочных отложений, которые изолируют их от непосредственного воздействия атмосферных агентов, поверхностных вод и наземной растительности и тем самым выводят из зоны активного химического разложения.

В пределах отдельных элементов рельефа, таких как водоразделы, склоны возвышенностей, речные долины и т. п., формирование коры выветривания осуществляется по-разному. Наиболее интенсивно оно протекает в области водоразделов, ослабевает и совершенно прекращается на крутых склонах и не отмечается на дне долин, где идет преимущественно накопление осадков.

Согласно К. К. Никитину кора выветривания представляет собой комплекс горных пород, образовавшихся в континентальных субэаральных условиях в результате стадийного изменения горных пород верхней части литосферы, стремящихся к равновесному состоянию в поверхностных термодинамических условиях.

Среди кор выветривания выделяются разновидности, наибольшее значение из которых имеют площадные и линейные. Первые представляют собой кору выветривания, располагающуюся примерно параллельно земной поверхности в виде покрова или плаща различной мощности, перекрывающего материнские образования. Линейная кора выветривания имеет в плане вид полос, протягивающихся вдоль линий разрывных нарушений, зон трещиноватости или по простирацию даек, слоев пород и вытянутых тел минеральных образований, легко поддающихся выветриванию. В разрезе линейная кора выветривания в ряде случаев уходит на большую глубину от поверхности, следуя за телом пород благоприятного состава или за зоной, в которой материнские образования как бы подготовлены для выветривания тектоническими процессами.

Древние коры выветривания позволяют восстановить палеогеографические и палеоклиматические условия, господствовавшие в течение эпохи их образования. Они маркируют древние поверхности выравнивания и в связи с этим имеют чрезвычайно большое значение для геоморфологов. Кроме того, с древними корами выветривания непосредственно или косвенно связываются месторождения различных полезных ископаемых, в первую очередь остаточных и во вторую — переотложенных, осадочных. Этим неполным перечнем далеко не исчерпывается значение кор выветривания как для выяснения ряда важных теоретических вопросов в области геологии и геоморфологии, так и при решении многих практических задач.

Мощность пород коры выветривания зависит от длительности процесса разложения, климата, в котором он протекает, состава материнских пород, тектонического режима региона, глубины залегания грунтовых вод и других факторов. Огромное значение имеет также степень сохранности коры выветривания от более позднего размыва.

Обычно мощность площадной коры выветривания изменяется в пределах от нескольких метров до 15—20 м. Линейные же коры выветривания уходят на большую глубину от поверхности. Так, на железорудных месторождениях КМА выветрелые породы коры выветривания вскрываются скважинами на глубине более 500 м от поверхности выравнивания кристаллического фундамента. В ядре Чадобецкого куполовидного поднятия скважины прошли более 400 м по выветрелым породам и не вскрыли неизмененных коренных образований.

Важной особенностью кор выветривания является закономерное распределение в них пород, имеющих различные химический и минеральный состав и физические свойства. Это позволяет наметить определенную зональность коры выветривания, более или менее четко проявляющуюся в ее строении. Зоны слагаются породами разного состава, имеют вытянутую пластообразную форму и располагаются более или менее параллельно поверхности выветривания. В случае площадной коры они последовательно сменяют друг друга сверху вниз. Совокупность зон называется профилем выветривания.

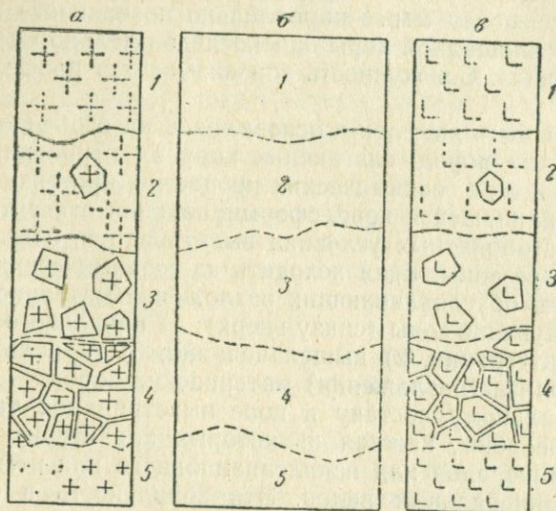
Зоны могут быть выделены, основываясь на особенностях минерального состава пород, слагающих кору выветривания, а также исходя из характера геохимических процессов, протекающих в ней. В хорошо сохранившейся коре, сформированной относительно медленно при благоприятных условиях выветривания, обычно удается выделить четыре зоны. Если исходить из геохимических особенностей процессов, обуславливающих разложение материнских пород, это будут следующие зоны (снизу вверх): 1) начального выщелачивания и дезинтеграции, 2) выщелачивания, 3) гидролиза и 4) конечного гидролиза (разложения) материнских пород.

По минеральному составу в коре выветривания также выделяются четыре зоны, каждая из которых характеризуется своим комплексом минералов или появлением одного или нескольких типоморфных минеральных видов. Эта зональность в отличие от геохимической будет неодинаковой для кор выветривания, развитых на материнских породах разного состава. Для примера возьмем наиболее контрастные типы материнских пород — граниты и ультраосновные породы (рис. 2). На гранитах в коре выветривания выделяются следующие зоны (снизу вверх): 1) дезинтеграции (в которой материнские породы в той или иной мере трещиноваты, но слюды, плагиоклазы и некоторые другие минералы, слагающие их, еще не претерпели существенного изменения и лишь начали подвергаться выщелачиванию). Кора выветривания связывается постепенными переходами с неизменными материнскими образованиями; 2) каолинит-гидрослюдистая; 3) охристо-каолининовая; 4) охристо-каолинит-гиббситовая (гиббсит иногда может отсутствовать). На породах ультраосновного состава, например на серпентинитах выделяются такие зоны (снизу вверх): 1) дезинтегрированных серпентинитов; 2) керолитовая; 3) нонтронитовая; 4) зона охр с глинистыми минералами и гиббситом (который иногда может отсутствовать).

Переходы между породами, слагающими различные зоны, обычно постепенные, нечеткие; границы их в ряде случаев проводятся условно, хотя наличие зон не вызывает сомнения.

Зональность возникает при наиболее полном разложении материнских пород при благоприятных условиях выветривания. Кора, образующаяся при этом, характеризуется, согласно А. П. Никитиной и др. (1971), полным профилем выветривания. Наряду с этим

в различных климатических условиях даже в пределах одного региона и на породах одного и того же состава могут формироваться коры с различными профилями выветривания. Это дает основание упомянутым авторам выделять коры, обладающие сокращенным профилем, возникающие в оптимальных условиях выветривания,



**Рис. 2. Схема минеральной и геохимической зональности коры выветривания**

*а* — минеральная зональность коры, развитой на гранитах; зоны: 1 — охристо-каолинит-гипбситовая (гипбсит может отсутствовать); 2 — охристо-каолинитовая; 3 — каолинит-гидрослюдистая; 4 — дезинтегрированных гранитов, затронутых начальными процессами выщелачивания; 5 — неизменные граниты;

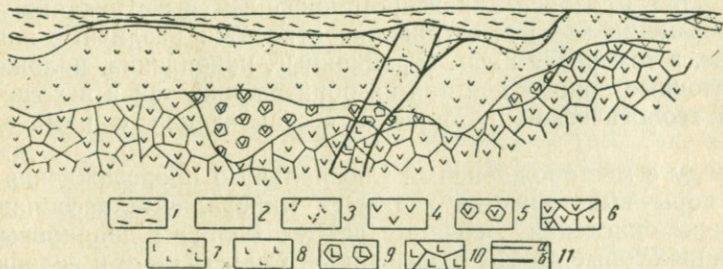
*б* — геохимическая зональность; зоны: 1 — конечного гидролиза (разложения); 2 — гидролиза; 3 — выщелачивания; 4 — начального выщелачивания и дезинтеграции; 5 — неизменные материнские породы;

*в* — минеральная зональность коры, развитой на серпентинитах; зоны: 1 — охр с глинистыми минералами и гипбситом (гипбсит может отсутствовать); 2 — нонтронитовая; 3 — керолитовая; 4 — дезинтегрированных серпентинитов, затронутых процессами выщелачивания; 5 — неизменные серпентиниты.

когда разложение осуществляется настолько быстро, что происходит выпадение отдельных зон и непосредственно на неизменных материнских породах залегают сильно разложенные, порой конечные продукты выветривания. Отличный профиль возникает при неблагоприятных условиях выветривания, когда разложение материнских пород не доходит до конца, и в профиле коры не образуются породы зоны конечного гидролиза. При этом формируется так называемый неполный профиль выветривания.

Кора выветривания сверху, как правило, размыта, что четко видно в разрезах, не перекрытых более молодыми породами. Если на древней коре залегают осадочные образования, с поверхностью

размыта совпадает также четко выраженная поверхность стратиграфического несогласия. Нижняя граница коры выветривания неровная, вследствие того что процессы глубокого химического разложения проникают на разную глубину по породам различного состава. Особенно интенсивно развиваются они вдоль тектонических нарушений, рассекающих материнские породы, зон трещиноватости и т. п.



**Рис. 3. Схематический разрез площадной коры выветривания (по К. К. Никитину)**

1 — покровные отложения; 2 — охры по серпентинитам; 3 — обохренные нонтронитизированные серпентиниты; 4 — нонтрониты и нонтронитизированные серпентиниты; 5 — выщелоченные серпентиниты; 6 — дезинтегрированные серпентиниты; 7 — охристо-глинистые продукты выветривания габброидов; 8 — каолинизированно-монтмориллонитизированные габброиды; 9 — выщелоченный габброид; 10 — дезинтегрированный габброид; 11 — границы продуктов выветривания (а) и пород (б)

Представление о строении и о характере нижней границы коры выветривания, развитой на серпентинитах, дает рис. 3.

В пределах одного региона в тождественной обстановке возникают различные разновидности кор выветривания, формирующиеся на материнских породах разного состава. К таким разновидностям можно отнести уже упоминавшиеся коры выветривания, с одной стороны, на ультраосновных, а с другой — на кислых породах — гранитоидах, развитые в Казахстане, на Урале и в Средней Азии в пределах небольших районов.

### **ФОРМАЦИЯ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ЭЛЮВИАЛЬНО-ОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС**

Представления о формации коры выветривания высказывались в течение последних 10—15 лет В. П. Казариновым, И. И. Гинзбургом, К. В. Никифоровой, В. Н. Разумовой, Н. М. Страховым, В. П. Петровым, А. Н. Сиговым и другими геологами.

Формация коры выветривания представляет собой совокупность остаточных образований, парагенетически связанных друг с другом и произошедших в результате химического разложения материнских пород. Основными членами формации являются: площадные,

линейные и другие морфогенетические типы кор выветривания, а также различные полезные ископаемые остаточного происхождения.

Формация объединяет разновидности площадной и других кор выветривания, образованных на породах разного состава, но в пределах одного элемента рельефа и в одинаковых климатических условиях, а также такие коры, которые образуются на породах одинакового состава, но в разных условиях выветривания и отличаются друг от друга характером профилей выветривания.

К формации коры выветривания относятся различные эпигенетические, в том числе инфильтрационные, накопления, наложенные на остаточные породы как при их образовании, так и в ходе дальнейшей геологической истории и составляющие с ними единое целое.

Наряду с месторождениями элювиального происхождения формация коры выветривания включает минеральные ассоциации и руды зоны окисления\*, соляные шляпы (кепрок) диапировых куполов и некоторые другие образования. Современные и ископаемые почвы также являются членами рассматриваемой формации.

Существуют и другие определения формации коры выветривания, предложенные ранее и, как правило, являющиеся более всеобъемлющими. Согласно некоторым из этих определений формация коры выветривания включает не только остаточные образования, но также осадочные породы и руды, возникшие в результате ближнего перетложения пород коры выветривания и генетически связанные с ней.

Такое чрезвычайно широкое толкование понятия «формация коры выветривания» представляется неправомерным, так как согласно ему осадочные породы, возникшие на поверхности литосферы в результате седиментации, объединяются с породами, образованными на месте в ходе элювиального процесса. Элювиальные образования остаются на месте залегания материнских пород, и в их образовании фактически не участвует механическое перемещение вещества по поверхности литосферы. В этом одно из принципиальных отличий условий их формирования, не позволяющее объединять их с осадочными породами, поскольку первопричиной образования последних является механическое движение минерального вещества по земной поверхности.

Нам представляется, что относящиеся к разным формациям породы коры выветривания и осадочные породы, возникшие в результате размыва и близкого перетложения коры, следует объединить, введя понятие «*элювиально-осадочный комплекс*». В состав этого комплекса входят все породы, составляющие формацию коры выветривания, равно как и осадочные породы, которые обнаруживают тесную генетическую связь с корой. Особое место в элюви-

\* Руды зоны окисления магматогенных месторождений тесно связаны с корой выветривания, однако распределение их не подчиняется экзогенным факторам и поэтому они здесь не рассматриваются.

алью-осадочном комплексе занимают месторождения различных ископаемых, например осадочных бокситов, которые возникли за счет размыва латеритной коры выветривания и переотложения образовавшихся продуктов в области седиментации.

Понятие «элювиально-осадочный комплекс» является более широким, чем «формация». Этот комплекс может включать формации остаточных и осадочных образований, например в случае отложения озерных осадков близ области развития коры выветривания. Комплекс может включать и формацию коры выветривания, взятую в целом, и часть формации осадочных образований. Понятно, что границы его в значительной мере условны. Породы, объединяемые в комплекс, могут образовываться в различных условиях, но должны непременно сохранять элементы родства. Так, в условиях КМА в состав комплекса входят и богатые железные руды, образованные в результате выветривания, и возникшие за счет их размыва осадочные валунные руды.

Существует представление, согласно которому к формации коры выветривания относятся не только остаточные и частью осадочные породы, но и материнские породы, за счет которых происходит образование коры выветривания. Эта точка зрения представляется мало обоснованной, поскольку в формацию коры выветривания включаются, с одной стороны, самые разнообразные исходные породы: магматические, осадочные и метаморфические, оказавшиеся в зоне выветривания. С другой стороны, они неравномерно объединяются в одну формацию с гипергенными остаточными породами, резко отличающимися по условиям образования, минеральному составу и физическим свойствам.

Породы коры выветривания являются типичными континентальными образованиями, формирующимися в субэрадных условиях. Они характерны преимущественно для областей, отличающихся стабильным геотектоническим режимом, и широко распространены в пределах платформенных областей. Кора выветривания образуются также и в геосинклинальных областях, однако здесь вследствие большой подвижности земной коры часто возникают условия, мало благоприятные для глубокого химического разложения пород, а также для сохранности накопившегося элювия. Тем не менее породы формации коры выветривания известны в отдельных частях геосинклиналей, таких как срединные массивы, некоторые устойчивые глыбы и другие элементы, характеризующиеся относительной стабильностью тектонического режима.

Геотектонические области, находящиеся в орогенной стадии развития, неблагоприятны для образования коры выветривания, которая, как правило, не образуется в горных районах, а если и возникает, то быстро уничтожается последующим размывом. В геологической истории Земли образование коры выветривания связывается с эпохами, возникающими закономерно при благоприятном сочетании геолого-тектонических, климатических и других факторов.

## ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, СВЯЗАННЫЕ С КОРОЙ ВЫВЕТРИВАНИЯ

С корами выветривания непосредственно или косвенно связаны многочисленные месторождения различных полезных ископаемых гипергенного происхождения, которые можно подразделить на несколько групп, формирующихся в неодинаковых условиях.

1. Собственно остаточные месторождения, возникшие за счет накопления полезного компонента при выщелачивании и выносе нерудных остаточных частей материнских пород. К полезным ископаемым остаточного происхождения относятся и такие, которые произошли в результате изменения первичных минералов и превращения их в новые минеральные образования, являющиеся объектами практического использования.

2. Инфильтрационные месторождения, образовавшиеся в результате наложенных процессов, связанных с поступлением минеральных компонентов в растворенном состоянии и отложением их в породах, слагающих кору выветривания или отдельные ее зоны.

3. Осадочные месторождения, образовавшиеся при переотложении продуктов коры выветривания и полезных компонентов, обогативших ее первоначально, и из растворов, поступивших из коры в ходе процессов выветривания.

### Общие условия образования месторождений коры выветривания

Образование месторождений полезных ископаемых в коре выветривания представляет собой результат сложного сочетания различных процессов, основным из которых является рудообразующий, определяющий главнейшие особенности месторождения. К числу таких процессов относятся: 1) концентрация рудного компонента, происходящая за счет разрушения материнской породы и выноса из нее составных частей. В результате образуются простые концентрационные месторождения коры выветривания, например элювиальные россыпи; 2) разрушение первичных минералов, слагающих материнскую породу, с преобразованием их в полезный компонент. К числу таких процессов относятся образование каолинитов за счет гидрослюд и полевых шпатов, превращение флогопита в вермикулит и др. При этом возникают преобразованные месторождения, не связанные с концентрацией полезного компонента; 3) накопление полезного ископаемого за счет инфильтрации из более высоко расположенных зон коры выветривания или из толщи перекрывающих ее пород. В ходе этого процесса образуются инфильтрационные месторождения. Примером их могут служить месторождения магнетита, связанные с зоной дезинтеграции коры выветривания серпентинитов.

Рудообразования в коре выветривания чаще всего имеют зональный характер, когда накопление полезного компонента сосре-

доточено в какой-либо одной или двух зонах. При этом возможны два источника поступления полезного компонента: 1) вынос из соседних зон, где выветрелые образования обеднены им по сравнению с материнской породой; 2) поступление из верхних частей коры выветривания, уничтоженных размывом, или из слоев осадочных пород, некогда перекрывавших кору, но зачастую также эродированных.

Рудные накопления в зависимости от условий разложения могут быть приурочены к различным частям профиля выветривания. Так, в коре выветривания полного профиля накопление минералов свободного глинозема происходит в зоне конечного разложения, тогда как в сокращенном профиле, например в коре выветривания о. Кауаи (Гавайские острова), породы коры выветривания, обогащенные гиббситом, лежат непосредственно на свежем базальте.

### Остаточные месторождения

К числу остаточных месторождений относятся: элювиальные россыпи золота, платины, алмазов, минералов олова, титана, циркония, вольфрама, других редких и рассеянных элементов; месторождения железа, бокситов, марганцевых руд, силикатно-никелевых руд, первичных каолинов, вермикулита, фосфоритов, огнеупорных глин, природных красителей и др.

Характер этих месторождений во многом зависит от формы нахождения рудного компонента в материнской породе, особенностей распространения его в последней, специфики процесса выветривания и некоторых других факторов. Для примера можно сослаться на богатые железные руды Воронежской антеклизы, которые возникают в том случае, если процессы выветривания налагаются на породы джеспилитовой формации, выведенные на земную поверхность. При этом происходит формирование богатых маритовых руд за счет выветривания железистых кварцитов. Кора выветривания развита здесь на головах круто падающих слоев нижнепротерозойских пород, слагающих нижний структурный этаж Русской платформы. Среди них развиты гнейсы и различные сланцы, включающие пласты железистых кварцитов. Кора выветривания носит в основном площадной характер и имеет значительную мощность. В тех местах, где она развивалась по зонам тектонических нарушений, мощность ее возрастает, местами доходя до нескольких сот метров. Состав пород, слагающих площадную кору, изменяется (зональность) в зависимости от степени выветривания и от характера исходных образований. На железистых кварцитах развиваются богатые железные руды, тогда как вмещающие породы — гнейсы и сланцы — превращены в ожелезненные глинистые продукты их выветривания; при выветривании кварц-серицит-хлоритовых сланцев образуются латеритные бокситы.

Богатые железные руды резко обеднены кварцем или совершенно лишены его в результате постепенного выноса кремнекислоты из железистых кварцитов и сложены мартитом и гематитом. Встречаются мартитовые, гематитовые, магнетитовые руды, а также руды смешанного состава. По железистым силикатам в породах, сопровождающих железистые кварциты, развиты охристые и другие железистые образования сложного минерального состава.

## Г Л А В А II

### ОСАДОЧНЫЕ РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Осадочный рудный процесс в общем случае протекает по следующей схеме. В пределах континента при благоприятных условиях рельефа под влиянием агентов выветривания происходит разрушение материнских пород и вынос из них полезного компонента. Последний переносится в области отложения, где и накапливается, давая рудные концентрации или лишь обогащая осадки. Если условно допустить, что регион сложен породами одного состава, то особенности процесса разрушения материнских пород в различных частях его территории будут зависеть от рельефа местности и от климата района, которые во взаимодействии определяют тип выветривания, а вместе с этим и характер веществ, выносимых из материнских пород, и состав остаточных образований. Рельеф региона и его климат оказывают также определяющее влияние на процесс переноса рудных компонентов и на их накопление.

Возможно и иное образование рудоносных отложений, когда полезный компонент заранее, в ходе предыдущей геологической истории, накопился в водной массе бассейна. В таком случае рудообразование может идти за счет выделения накоплений именно этого компонента. Однако роль климата как фактора, определяющего возможность выпадения рудных минералов, сохранится. Точно так же сохранится и влияние рельефа на формирование рудных отложений, поскольку характер рельефа на формирование рудных отложений, поскольку характер рельефа на формирование рудных отложений определяют возможность седиментации в пределах той или иной части водоема.

Анализ этих и других процессов показывает, что основными факторами, определяющими накопление первичноосадочных рудных образований, являются: 1) наличие источника рудного компонента; 2) благоприятный рельеф\* региона; 3) наличие оптимальных климатических условий. Только при благоприятном сочетании этих факторов существует потенциальная возможность для развития процесса первичного рудообразования.

Перечисленные факторы сохраняют косвенное влияние на процессы диагенетического и катагенетического рудообразования: они

\* Имеется в виду также рельеф области седиментации, в частности дна водоема.

определяют первичное обогащение, на базе которого происходит перераспределение вещества на более поздних стадиях формирования рудных месторождений.

### ИСТОЧНИК МЕТАЛЛА

Поступление рудного вещества может идти из трех различных источников. Одним из них являются исходные (материнские) породы, которые разрушаются при выветривании на суше. Значительную роль играет непосредственное выделение солей и рудных компонентов из морской или озерной воды, а также извлечение их природными сорбентами. Таким образом, минеральные вещества, накопленные в морских и озерных водах, являются вторым важным источником металлов и других минеральных веществ. Наконец, третий возможный источник их представляют различные вулканогенные образования, связанные с эффузивным процессом.

### Поступление рудных компонентов с суши

Принос в области седиментации тех или иных металлов или соединений рудных элементов из области разрушения теснейшим образом связан с процессами выветривания, которые приводят к освобождению многочисленных элементов, входящих в состав горных пород, и тем самым обуславливает возможность их перемещения.

Выветривание, в частности процесс выноса элементов из материнских пород при выветривании, подробно рассмотрен Б. Б. Полюновым (1934). Согласно его представлениям вынос элементов осуществляется в определенной последовательности: вначале выщелачиваются наиболее подвижные элементы, затем все более инертные и наконец на месте материнской породы сохраняются лишь остаточные образования, состоящие из стойких, не поддающихся разрушению минеральных комплексов. Для наиболее распространенных элементов Б. Б. Полюнов установил определенные миграционные ряды (табл. 7), которые расположены в порядке убывающей подвижности элементов.

Миграционные ряды (по Б. Б. Полюнову)

Таблица 7

Ряды	Состав рядов
Энергично выносимые . . . . .	Cl, (Br), S
Легко выносимые . . . . .	Ca, Na, Mg, K
Подвижные . . . . .	SiO <sub>2</sub> (силикатов), P, Mn
Инертные (слабо подвижные) . . . . .	Fe, Al, Ti
Практически неподвижные . . . . .	SiO <sub>2</sub> (кварца)

В свете фактов последних лет представления Б. Б. Полюнова нуждаются в некоторых дополнениях и изменениях. Так, стало

известно, что, например, кварц, при образовании богатых железных руд в процессе выветривания железистых кварцитов легко выщелачивается. А. И. Перельман (1968) внес некоторые изменения в миграционные ряды Б. Б. Полюнова. Он выделил четыре ряда элементов по степеням их подвижности при образовании коры выветривания (табл. 8).

Таблица 8

**Миграционные ряды элементов при образовании коры выветривания  
(по А. И. Перельману)**

Ряды	Состав рядов	Кoeffициент водной миграции элементов
Энергично выносимые . . . . .	Cl, Br, I, S	100 <i>n</i>
Легко выносимые . . . . .	Ca, Mg, Na, F, Sr, K(?), Zn	10 <i>n</i>
Подвижные . . . . .	Cu, Ni, Co, Mo(?), V(?), Mn, Si, P	<i>n</i>
Инертные, практически неподвижные . . . . .	Fe, Al, Ti, Sc, TR, Zr, Hf, Nb, Ta, Ru, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Sn	<i>n</i> · 10 <sup>-1</sup>

Эти миграционные ряды в общем правильно отражают относительную подвижность элементов, однако к ним можно сделать отдельные замечания. Так, нельзя согласиться с отнесением железа к числу инертных элементов. В особых условиях в коре выветривания оно может не мигрировать и даже давать промышленные накопления. Но часто железо перемещается по зонам коры выветривания и даже выносится за ее пределы. Представляется более правильным рассматривать отдельно миграционную способность двух- и трехвалентного железа. Вероятно, двух- и трехвалентное железо относится к разным рядам. Возможно, что некоторые другие элементы, обладающие разной валентностью, также займут место в двух соседних рядах. Позднее А. И. Перельман подробнее рассмотрел процессы выноса и миграции элементов и предложил более всеобъемлющие, но в то же время и несколько более сложные ряды миграции.

Намеченная последовательность выноса элементов характерна для последних этапов развития земной коры. В более ранние геологические эпохи существовали иные физико-химические условия среды на ее поверхности. Даже в сравнительно недалеком геологическом прошлом растительный и животный мир отличался от современного, а в начальные этапы жизнь вообще отсутствовала. Имеется ряд косвенных доводов в пользу того, что в более отдаленные времена состав атмосферы и гидросферы значительно отличался от современного, так же как и тепловой режим на поверхности земной коры. Несомненно, что в этих условиях выветривание носило иной характер, и миграционные ряды элементов должны были отличаться от современных. Особенности древнего выветривания еще очень мало известны, и нашему наблюдению

доступны лишь результаты процессов древнего выветривания в виде сохранившихся древних кор. Непосредственные наблюдения продуктов выветривания не дают обычно прямого ответа на вопрос о том, как осуществлялся сам процесс изменения материнских пород и в какой последовательности происходил вынос тех или иных составных частей горных пород.

В современную эпоху происходит в огромных масштабах вынос минеральных веществ при выветривании материнских пород и поступление различных элементов в речную сеть. Однако содержание их в воде крупных рек, как правило, не превышает тысячных и сотых долей миллиграмма на литр (табл. 9). Особенно мало содержание рудных элементов, находящихся в растворенном состоянии в речной воде. Заметно больше оно во взвеси, в составе мути, транспортируемой реками.

Таблица 9

Содержание рудных элементов (в мкг/л) во взвеси (числитель) и в растворенном состоянии (знаменатель) в воде некоторых рек (по Г. С. Коновалову и др.)

Река	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	V	Ni
Западная Двина	2,3	180,0	2,9	129,0	—	3,7	4,5
	0,05	19,3	8,1	43,0	Не обн.	Не обн.	1,8
Днепр	—	290,0	6,7	125,0	—	8,0	7,2
	—	14,3	5,3	38,3	8,0	3,1	3,6
Дунай	4,6	156,0	8,2	730,0	—	10,8	6,3
	0,02	10,0	4,8	15,0	17,7	2,3	0,8
Волга	1,2	83,0	1,0	30,0	—	2,3	1,7
	—	5,2	18,0	8,0	0,06	Не обн.	1,9
Печора	0,4	9,0	2,2	9,1	—	6,9	2,5
	0,04	8,0	4,8	9,6	Не обн.	1,3	1,2
Обь	2,9	105,0	2,6	73,0	—	8,0	5,0
	0,24	13,2	9,0	9,0	Не обн.	2,3	1,8
Енисей	9,5	286,0	8,0	157,0	—	5,5	9,4
	0,18	4,6	3,8	8,2	2,7	1,8	2,0
Лена	0,7	24,4	0,3	125,0	—	2,0	5,0
	0,04	2,9	3,1	9,8	Не обн.	2,5	3,2
Амурарья	25,9	394,0	21,8	187,0	—	42,0	17,7
	0,03	7,4	5,6	21,5	11,3	Не обн.	Не обн.
Сырдарья	31,0	630,0	19,0	149,0	—	31,0	10,0
	0,17	14,8	9,4	20,2	9,0	3,2	Не обн.
Кубань	26,6	405,0	19,8	302,0	—	24,6	18,2
	0,20	8,0	16,6	19,0	1,0	Не обн.	2,9
Кура	7,5	359,0	4,9	144,0	—	18,1	5,5
	0,02	4,6	4,4	13,8	Не обн.	3,0	1,0
Терек	103,0	2450,0	34,2	1510,0	—	72,0	106,0
	0,50	23,2	3,8	11,0	152,0	1,5	4,8

В горных реках, несущих чрезвычайно мутную воду, соответственно возрастает содержание элементов, находящихся во взвешенном состоянии. В равнинных реках, особенно Сибири, транспортирующих прозрачную воду, содержания элементов, находящихся во взвешенном состоянии и в растворе, становятся более близкими и в ряде случаев уравниваются, хотя суммарные содержания весьма низки. Например, содержание меди в р. Енисее соответственно равно 8 и 3,8 мкг/л.

Из табл. 9 видно, что различные элементы находятся в растворенном состоянии в неодинаковом количестве. Из элементов, не включенных в табл. 9, заслуживают упоминания фосфор и уран, растворенные в воде рек. Обычное содержание фосфора около 25 мкг/л, а урана — не превышает первых единиц микрограмма на литр.

Остается открытым вопрос о характере растворов, которые образуют рудные элементы в речной воде. По этому поводу могут быть высказаны только более или менее обоснованные предположения. Возможно, это соединения элементов, находящиеся в форме истинных растворов. Однако более вероятно, что они образуют коллоидные растворы, находящиеся под защитой каких-либо минеральных или органических соединений. Элементы, входящие в состав взвесей, частично сорбированы на минералах глин или других терригенных компонентов, переносимых водой. Частью же они находятся в виде мельчайших выделений рудных минералов, таких как гётит и гидрогётит (в случае железа), псиломелан и тодорокит (в случае марганца), малахит (в случае меди) и т. п.

Ничтожно малые содержания элементов, растворенных в речной воде, не дают основания считать, что они могут выделяться непосредственно в осадок и давать рудные накопления. В самом деле, при таких низких содержаниях в речной воде не могут активно протекать процессы сорбции, окисления, гидролиза и различные другие реакции, обуславливающие переход соединений элементов в твердую фазу, с последующим выпадением их на дно с образованием рудных осадков.

В отличие от крупных водных артерий в небольших реках и ручьях, питающихся за счет воды, поступающей из заболоченных территорий, подземных вод, вытекающих из различных родников, поверхностных вод, протекающих по породам, обогащенным металлом, или в пределах рудных полей, могут возникнуть значительные содержания рудных элементов. В этом случае возможно накопление рудных осадков, образованных за счет выпадения из воды соединений элементов, находящихся в растворенном состоянии. Образование рудных илов в этом случае станет возможным, если будут исключены условия, приводящие к разубоживанию донных отложений в руслах небольших водотоков или водных бассейнов, в которые они вносят рудный материал.

Незначительные содержания металлов, достаточные, однако, для образования рудных накоплений, устанавливаются в различных

районах в поверхностных водах. Так, в воде рек и ручьев, впадающих в озера, расположенные в северной части Ленинградской области и в Карельской АССР, заметно обогащение растворенным железом и марганцем. Низкие содержания железа в воде притоков (табл. 10, оз. Муолан-Ярви) оказались достаточными для накопления на дне железных руд, формирующихся в настоящее время. Если же воды притоков содержат марганца от десятых долей до 1 мг/л, то на дне отлагаются железо-марганцевые руды (оз. Пуннус-Ярви).

Таблица 10  
Содержание железа и марганца (в мг/л) в воде притоков оз. Пуннус-Ярви (по Н. И. Семеновичу)

Озера	Притоки	Валовое содержание Fe	Содержание Mn <sup>2+</sup>	pH
Рудные Пуннус-Ярви	Река Саунтака-Йоки	4,3	0,85	—
	Ручей № 20	7,46	0,81	6,9
	» № 15	2,92 0,86	0,43 0,03	— —
Муолан-Ярви	» № 3	0,47	0,0	—
	» № 13	0,85	0,0	—
	» № 14	0,66	0,23	—
Безрудное	Река Хота-Йоки	0,56	—	6,1
	Притоки болотного питания	0,18—0,68	—	6,6
Суйстамон-Ярви	Ручей № 5	0,1—0,7*	—	—
	Река Сарка-Йоки	0,28	—	—
	Ручей № 7	0,16	—	7

\* Содержания меняются в зависимости от времени года.

Установлено также заметное содержание растворенного алюминия в ручьях, протекающих в области развития коры выветривания в отдельных районах Гвинеи. У выхода вод из источников содержание алюминия достигает нескольких миллиграммов на литр, но уже на незначительном расстоянии быстро падает до десятых и сотых долей миллиграмма на литр. При этом на дне водоемов, находящихся в непосредственной близости от истоков впадающих в них ручьев и рек, а также на дне последних происходит накопление хемогенного глинозема.

В бассейне р. Амазонки застойные «черные воды» характеризуются невысоким, но устойчивым содержанием растворенного алюминия. Известны повышенные содержания растворенного никеля в поверхностных водах в областях развития никеленосной коры

выветривания на Урале. При благоприятных условиях происходит обогащение воды ручьев и небольших речек соединениями других рудных элементов. Незначительные содержания достаточны для образования рудных концентраций, однако чаще они быстро рассеиваются по мере удаления от источника питания, а также при слиянии ручьев и мелких речек с другими водными артериями. В этом кроется причина того, что осадочные рудные концентрации редко встречаются в составе седиментационных комплексов.

В воде крупных рек рудные элементы настолько «рассеяны», что не могут вступать в химические реакции, переводящие их соединения в твердую фазу. Точно так же ничтожно малые содержания исключают возможность поглощения металлов из воды в результате сорбции. Можно полагать, что рудные элементы в воде крупных рек недееспособны вследствие ничтожной концентрации. Содержание их находится в своеобразном равновесии с сорбентами — взвешенными в воде тонкими минеральными частицами. Понятно, что незначительные содержания элементов не могут способствовать возникновению рудных накоплений, и поэтому воды крупных рек, как правило, не играют значительной роли в осадочной металлогении.

Характерно, что даже аллювиальные россыпи формируются преимущественно в верховьях рек неподалеку от источников рудных минералов, а дельтовые россыпи, образующиеся на значительном расстоянии от места поступления рудного материала, слагаются тонко дисперсными минералами, трудно поддающимися извлечению.

Таким образом, можно считать, что *при условиях, господствующих в поверхностных водах, значительные накопления рудных элементов следует ожидать преимущественно в небольших водных артериях или в бассейнах, непосредственно связанных с ними.* Отложения крупных рек перспективны лишь в тех случаях, когда руды сложены крупными минеральными образованиями, например оолитами, переотлагаемыми в руслах, как это имеет место в случае железных руд, накопившихся в долинах древних водных артерий. Примером речных рудных отложений могут служить Приаральские и Лисаковские месторождения в Казахстане.

Перенос полезных компонентов, освобождающихся при выветривании, играет преобладающую роль в экзогенном рудообразовании. Это бесспорно для всех тех случаев, когда руды локализируются в породах платформенных континентальных формаций, лишенных следов проявления вулканической деятельности. К числу месторождений такого типа относятся делювиальные месторождения бокситов и континентальные россыпные месторождения, руды болотного, речного и озерного генезиса, а также концентрации малых и редких элементов, приуроченные к лимническим углям и некоторым другим континентальным образованиям.

Значительно труднее доказывается поступление металла с суши, когда руды связаны с морскими отложениями. Если месторож-

дения тяготеют к прибрежной зоне, а соединения рудных элементов неустойчивы в физико-химических условиях, господствующих в морской воде, быстро переходят в твердую фазу и выпадают на дно, то можно считать, что они приносились с материка. Это характерно для железа, марганца и некоторых других элементов, морские месторождения которых в условиях платформенных областей формируются за счет накопления металла, приносимого с суши. В прошлые геологические эпохи осадочный рудный процесс временами достигал большой интенсивности. На платформах за относительно короткое время накапливались мощные залежи руд с огромными запасами металла. Это заставляет предположить, что содержания металлов в поверхностных водах на суше достигали значительных величин, они резко превышали средние содержания элементов, наблюдающиеся в современных реках. Такие воды, обогащенные, например, железом, могли временами формироваться при интенсивном выветривании массивов ультраосновных пород. При поступлении в море в новой физико-химической обстановке они осаждали металл; который образовывал огромные скопления, расположенные на незначительном расстоянии от берега.

Накопление металла, в частности железа, приносимого многочисленными небольшими водными артериями, например в виде коллоидных растворов, защищенных органическим веществом, представляется вполне вероятным для многих геологических периодов. Важным условием для этого является пышное развитие наземной растительности.

Известны примеры рудных накоплений, которые отчетливо связываются с областями платформ. Сюда относятся озерные руды Карельской АССР, Финляндии и Скандинавского полуострова. Они отложились в пресных водоемах северной части Русской платформы за относительно короткий срок (с конца последнего оледенения). Примечательно, что источником металла, бесспорно, служили материнские породы, разрушавшиеся в ходе выветривания.

Комплекс рудных элементов, выносившихся в прошлые геологические эпохи из областей питания, и степень концентрации их в поверхностных водах не поддаются учету в настоящее время, когда мы еще очень немного знаем о характерных особенностях древнего выветривания. Приближенное представление по этим вопросам можно получить, если обратиться к содержанию элементов в водах современных рек (см. табл. 9). Подавляющее большинство рудных элементов обычно находится в поверхностных водах в незначительном количестве (сотые и тысячные доли миллиграмма на литр). Только содержание железа измеряется в среднем десятками долями миллиграмма на литр. В наименьшем количестве в поверхностных водах находится ртуть (около одной стотысячной доли миллиграмма на литр). В крайне малых количествах (тысячные доли миллиграмма на литр) содержится также свинец, молибден, никель и кобальт.

Интересно отметить, что содержание многих металлов подвержено резким изменениям. Так, содержание железа колеблется от долей миллиграмма на литр до величины, превышающей 10 мг/л, причем концентрация его изменяется в 50 раз. Особенно значительно непостоянство в содержании урана, геохимия которого подробно изучена в последнее время. Содержание урана, растворенного в воде различных рек, изменяется в сотни раз. Вероятно, это характерно и для других элементов, однако мы еще не знаем конкретных цифр. Содержание элементов в речной воде подвержено значительным сезонным изменениям. Интересны наблюдения, проведенные над содержанием меди в реках Анголы (Африка), где оно заметно меняется в течение года.

Область суши, сложенная породами различного состава, при благоприятных физико-географических условиях может поставлять широкий круг элементов. При этом большое значение имеют и рудные месторождения, связанные с коренными породами региона. В ходе их разрушения освобождается значительное количество металлов, которые поступают в пути миграции и выносятся в области отложения. Совокупность всех выносимых элементов определяет металлогеническое значение области суши и указывает на то, какие осадочные месторождения могут быть связаны тем или иным континентальным массивом. В пределах СССР известен ряд регионов, отличающихся друг от друга по составу исходных пород и особенностям эндогенного рудообразования. В данном случае удобнее всего привести пример, относящийся к платформенным областям. Комплексы магматических и других материнских пород и эндогенная металлогения Русской и Сибирской платформ заметно отличаются друг от друга. Это сказывается на характере осадочных месторождений. Так, россыпные месторождения обоих регионов резко различны. На Сибирской платформе весьма распространены золотоносные россыпи, отсутствующие на Русской платформе.

### Рудные компоненты в морской и озерной воде

Важнейшим источником рудных элементов, сконцентрированных в осадочных месторождениях, являются воды морей и океанов. В морской воде накапливаются в значительных количествах только такие элементы, соединения которых легко растворимы, не поглощаются морскими организмами и не сорбируются органическим веществом, минералами глин и другими образованиями. Так, содержание хлора, натрия и магния измеряется граммами на литр воды. Даже содержание серы составляет 0,9 г/л. Большинство рудных элементов обычно содержится в морской воде в неизмеримо меньших количествах. В табл. 11, заимствованной у Э. Д. Гольдберга, приведены рудные и некоторые другие элементы, обычные в осадочном цикле. В ней даны не только средние содержания элементов, но и наиболее вероятные формы нахождения их в

растворенном состоянии в морской воде, а также почерпнутое из другого источника содержание органического вещества, которое прямо или косвенно оказывает огромное влияние на ход процесса накопления осадочных руд. Для некоторых элементов (Al и Ti) не указана форма нахождения в морской воде. Можно полагать, что они присутствуют в виде коллоидных растворов или образуют растворимые металлоорганические соединения. Весьма вероятно, что и другие элементы частично находятся в морской воде в виде подобных же соединений.

Таблица 11

Содержание и форма нахождения некоторых элементов в морской воде  
(по Э. Д. Гольдберг)

Элемент	Содержание, мг/л	Форма нахождения в морской воде
B	4,6	$B(OH)_3$ , $B(OH)_2O^-$
F	1,3	$F^-$
Al	0,01	—
Si	3,0	$Si(OH)_4$ , $Si(OH)_3O^-$
P	0,07	$HPO_4^{2-}$ , $H_2PO_4^-$ , $PO_4^{3-}$ , $H_3PO_4$
S	885,0	$SO_4^{2-}$
Ti	0,001	—
V	0,002	$VO_2(OH)_3^{2-}$
Mn	0,002	$Mn^{2+}$ , $MnSO_4$
Fe	0,01	$Fe(OH)_3$ (твердый)
Ni	0,002	$Ni^{2+}$ , $NiSO_4$
Cu	0,003	$Cu^{2+}$ , $CuSO_4$
Zn	0,01	$Zn^{2+}$ , $ZnSO_4$
Mo	0,01	$MoO_4^{2-}$
Ag	0,0003	$AgCl_2^-$ , $AgCl_3^{2-}$
Ba	0,03	$Ba^{2+}$ , $BaSO_4$
Au	0,000004	$AuCl_4^-$
Pb	0,0001	$Pb^{2+}$ , $PbSO_4$
U	0,003	$UO_2(CO_3)_3^{4-}$
Органическое вещество	0,002	—

Рудные элементы образуют, как правило, труднорастворимые соединения; в связи с этим количество их ничтожно и измеряется миллиграммами на кубический метр воды. Это относится не только к малым и редким элементам или элементам, характеризующимся средней распространенностью, но и к таким, как алюминий и железо, кларк которых составляет соответственно 8,8 и 5,1 весовых процентов твердой оболочки земной коры.

Однако наряду со средними содержаниями, типичными для морской воды открытых бассейнов с нормальной соленостью, газовым режимом и другими свойствами, в поверхностных водоемах места ми наблюдаются повышенные концентрации отдельных элементов. Они могут быть обусловлены поступлением соединений металлов из горячих вод, так или иначе связанных с вулканическим процессом, или из рудных рассолов. Эти источники поступления рудных компонентов будут рассмотрены в третьей главе. Кроме того, повышенные концентрации рудных элементов устанавливаются в воде отдельных внутриконтинентальных морских бассейнов, а также бессточных озер, расположенных в областях с сухим континентальным климатом.

Таблица 12

Содержание растворенного марганца  
(в мг/л) в глубоководной части  
Черного моря (по В. В. Мокиевской)

Глубина, м	Содержание Mn
0	0,000
50	0,000
100	0,004
250	0,033
300	0,174
500	0,457
1000	0,304
1500	0,280
2000	0,170
2100	0,280

Так, в застойных водах некоторых морских бассейнов обнаружены значительные содержания марганца. В придонной воде в отдельных частях Балтийского моря содержание марганца доходит до 0,29—0,37 мг/л. Наиболее ярким примером бассейна, содержащего повышенные количества растворенного марганца, является Черное море, воды которого с глубины 150—180 м и до самого дна заражены сероводородом. Содержа-

жание сероводорода растет с глубиной и доходит до 10 мг/л у дна. В сероводородной зоне рН воды составляет 7,7—7,8 при окислительно-восстановительном потенциале, меняющемся в пределах от —100 до —200 мв. В отличие от этого в поверхностной зоне морской воды, характеризующейся нормальным газовым режимом, рН достигает 8—8,36, а окислительно-восстановительный потенциал составляет +300 — +400 мв. В приповерхностной зоне растворимые соединения марганца отсутствуют, а на глубине 100 м составляет 0,004 мг/л (см. табл. 12). Ниже наблюдается непрерывный рост концентрации, которая достигает максимума в 0,457 мг/л на глубине 500 м. По мере дальнейшего углубления содержание марганца несколько сокращается, а затем до самого дна остается более или менее постоянным примерно на уровне 0,2—0,3 мг/л. Общее суммарное содержание марганца в воде Черного моря, по данным Б. А. Скопинцева и Т. П. Поповой (1963), достигает 100 000 000 т.

Большинство исследователей связывает повышенные содержания марганца в воде Черного моря с привнесением его в составе речного стока с окружающей суши. Менее вероятна точка зрения, согласно которой марганец имеет вулканогенное происхождение. В пользу накопления металла за счет поверхностного стока сви-

детельствует аналогия с Балтийским морем, где, как уже упоминалось, в воде местами также устанавливается повышенное содержание марганца.

Поскольку Балтийское море располагается в пределах такого стабильного элемента земной коры, как Русская платформа, нельзя считать, что поступление марганца в него связано с вулканическим процессом.

Широко известны примеры накопления в воде урана, заметные концентрации которого установлены в воде бессточных озер, расположенных в засушливых и полупустынных областях. Общее содержание растворенного урана в отдельных водоемах достигает весьма значительной величины.

Можно полагать, что в геологическом прошлом при определенных условиях также происходило накопление марганца и урана в воде отдельных морских и озерных бассейнов. Геологические условия локализации месторождений ванадия и некоторых других элементов приводят многих исследователей к заключению о том, что источником металла являлись воды древних бассейнов. По данным С. Г. Анкиновича, в пределах Казахстана и некоторых прилегающих к нему областей в кембрии существовало своеобразное «ванадиевое» море, из воды которого происходила садка соединений этого металла. В результате возникли многочисленные месторождения ванадиевых сланцев, распространенных на территории Казахстана, Северной Киргизии и в некоторых других районах Средней Азии. По данным М. Н. Альтгаузена (1956), в нижнем палеозое имела место довольно продолжительная эпоха, в течение которой происходила садка на дно морских бассейнов редких элементов и фосфора, ранее накопившихся в воде древних бассейнов. Этот процесс привел к образованию первичноосадочных месторождений ванадия, фосфора и некоторых других элементов.

Можно полагать, что в некоторых случаях сама водная масса бассейнов, преимущественно внутриконтинентальных и бессточных, может содержать весьма значительные запасы марганца, урана и некоторых других элементов. Имеются основания рассматривать эти накопления в качестве потенциального источника металла при формировании седиментационных рудных месторождений.

Вопрос о первоисточнике металла, накапливающегося в значительных количествах в морской или озерной воде, является предметом дискуссии. Даже в тех случаях, когда накопление осуществляется в современных водоемах, существуют различные мнения о том, откуда и в результате каких процессов поступил рудный элемент. Значительно более сложен этот вопрос в случае древних водоемов, когда, как правило, нельзя определенно указать, откуда был привнесен рудный компонент, накопившийся, например, в древнем «ванадиевом» море или в каком-либо другом бассейне.

Часть рудных элементов приносится в море в составе поверхностного стока с суши. Другая их часть имеет вулканогенное происхождение. Полезные компоненты зачастую долго находятся в

растворенном состоянии в воде, причем в этом случае бывает невозможно установить первичный источник их.

Водная масса морей и океанов уже издавна содержит огромное количество растворимых веществ, которые могут временами из нее выделяться. В геологической истории Земли намечаются два основных этапа, когда выделение минеральных веществ протекало существенно различными путями. Первый из них охватывает наиболее древние периоды развития земной коры — по верхний протерозой включительно, второй — весь послепротерозойский период геологической истории.

Согласно широко распространенному мнению атмосфера Земли в отдаленные эпохи была бедна кислородом и содержала много углекислоты. Последняя была в значительном количестве растворена и в водной массе мирового океана. Это обусловило относительно кислый характер поверхностных вод. Малое количество кислорода в атмосфере вызывало незначительное содержание его в водах, вследствие чего в них легко возникали восстановительные условия. В кислой и восстановительной среде в водах мирового океана должно было находиться в растворенном состоянии значительное количество соединений железа, марганца, меди, ванадия, урана и многих других элементов.

Под влиянием развивавшейся растительности постепенно уменьшалось содержание углекислоты и поверхностные воды становились нейтральными, а затем и слабощелочными. Параллельно в водной массе мирового океана увеличивалось содержание кислорода. Происходило изменение физико-химических условий океанической среды и значение окислительно-восстановительного потенциала становилось все более высоким. В этих условиях началось постепенное выделение из морской воды ряда элементов, соединения которых оказались труднорастворимыми в новой физико-химической обстановке.

Наиболее яркой особенностью древней седиментации и рудообразования являлось периодическое массовое выпадение из вод мирового океана соединений различных элементов. Древняя хемогенная седиментация лучше всего известна на примере накопления кремния и железа — элементов, являющихся важнейшими составными частями земной коры. Что касается глинозема, также обладающего весьма значительным кларком, то он и на древнейших этапах развития земной коры, по-видимому, не давал значительных накоплений в гидросфере.

При увеличении содержания кислорода кислые соединения железа переходили в окисные, которые неизмеримо труднее растворимы в воде. В соответствии с этим происходило выделение соединений окисного железа в твердую фазу и переход их в осадок. Остается неясной причина массового отложения кремнезема. Несомненно лишь то, что концентрация кремнекислоты в водоемах возросла настолько, что она также начала выпадать из морской воды. Этот процесс перемежался с отложением железа. В ре-

зультате сформировались толщи железистых кварцитов, характеризующихся тонким чередованием прослоев железистого вещества и кремнезема. Следует упомянуть, что существует и другая вулканогенно-осадочная гипотеза образования железистых кварцитов. Выделение рудных компонентов в твердую фазу носило ареальный характер и протекало, вероятно, более или менее одновременно на огромных площадях в пределах водоемов. В этом заключается одна из характерных черт докембрийской морской седиментации и осадочного рудообразования. Соединения железа и кремнекислоты, переходя в твердую фазу, захватывали некоторое количество других элементов и извлекали их из морской воды.

С докембрием связываются месторождения марганца, фосфора, часто в виде апатитов (метаморфизованных фосфоритов), меди, урана и некоторых других элементов. Можно предположить, что своим происхождением все они обязаны в основном выделению из морской воды соответствующих полезных компонентов и обогащению ими осадков.

Позднее, уже в кембрии происходило массовое выделение ванадия и образование ванадиевых сланцев, которое было распространено на широких площадях и носило ареальный характер.

К началу палеозоя первоначальный состав морской воды значительно изменился и во многом был близок к современному. При этом периодическое хемогенное выделение рудных элементов стало относительно редким явлением. В соответствии с новыми условиями, установившимися в морских водах, к началу палеозоя произошло резкое изменение характера процесса выделения рудных элементов. Отложения их уже не протекали одновременно на широких площадях морского дна, а локализовались преимущественно близ берега в отдельных ограниченных участках, которые лишь иногда приобретали характер больших площадей и вытянутых зон, располагающихся преимущественно параллельно берегам бассейна. Сам процесс накопления рудных компонентов был приурочен к узким отрезкам времени. В подавляющем большинстве случаев он может протекать тогда, когда имеется какой-то источник поступления металла со стороны.

Концентрации полезных компонентов, образованные за счет выделения из морской воды, продолжают формироваться, но они представлены преимущественно легкорастворимыми солями, фосфоритами, а также малыми и редкими элементами, экстрагируемыми из морской воды преимущественно в результате сорбции.

В настоящее время в морской воде содержится весьма широкий круг различных элементов. Большинство из них сохраняет постоянную концентрацию. Исключением являются только биогенные элементы, которые поглощаются организмами, и временами, в периоды цветения планктона, почти целиком извлекаются из воды. К их числу относятся кремний, фосфор, железо, марганец, ванадий, а также, по-видимому, медь, никель и молибден.

## РОЛЬ РЕЛЬЕФА И ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Геотектонический фактор постоянно оказывает воздействие на ход процессов образования осадочных рудных месторождений. Тектонические движения, которые определяют характер рельефа земной поверхности, являются одной из важнейших причин, обуславливающих возникновение и развитие гипергенного рудного процесса или вызывающих прекращение его. Широко известно, например, что активное химическое выветривание, сопровождающееся образованием остаточных месторождений (исключая некоторые контактово-карстовые), может протекать лишь в эпохи, характеризующиеся стабильным тектоническим режимом с умеренно высоким и слабо расчлененным рельефом. Влияние тектонических движений весьма отчетливо сказывается на разных стадиях формирования рудных месторождений других типов. Они оказывают определяющее воздействие на процесс образования первичноосадочных рудных концентраций, протекающий в стадии сингенетического накопления полезного компонента в осадке. Отложения осадков обычно приурочиваются к отрицательным элементам рельефа, возникшим в результате прогибания земной коры и занятым озерными или морскими водоемами. Роль тектонического фактора чрезвычайно велика и при образовании рудных концентраций в катагенетическую стадию, когда наличие тех или иных движений земной коры может вызвать перераспределение рудного вещества в осадочных толщах и определить особенности этого процесса.

Относительно приподнятые территории в условиях платформ превращаются в области сноса, из которых происходит вынос ряда полезных компонентов. Поднятия земной коры прерывают первичноосадочный рудный процесс, так же как любой процесс седиментации. Помимо этого, поднятия обычно приводят к размыву ранее накопившихся отложений и уничтожению рудных залежей. В отличие от этого при прогибании земной коры создаются более благоприятные условия для рудообразования. На фоне опусканий возможно неоднократное повторение процесса первичного отложения руд. Кроме того, при опускании идет перекрытие и захоронение ранее отложившихся залежей.

Тектонические условия, наиболее благоприятные для образования первичноосадочных рудных накоплений, слагаются из незначительных положительных движений, предшествующих эпохе рудоотложения, и относительно стабильного режима, с небольшими отрицательными движениями в течение этой эпохи. Поднятия не должны иметь резкий характер и вызывать образование сильно расчлененного рельефа. В противном случае возникнут столь интенсивные процессы размыва, что формирование руд будет подавлено массой отлагающегося обломочного материала. Оптимальная величина поднятия меняется для различных полезных ископаемых.

Обычно она не превышает 1000 м над уровнем моря. При этом относительные превышения положительных элементов рельефа над отрицательными не превосходят 200—400 м. Медленные поднятия в области питания, компенсирующие денудацию и вынос минерального материала из ее пределов, благоприятны и для рудообразования.

Отрицательные движения не должны обуславливать значительные по амплитуде прогибания области отложения осадков и накопления рудных элементов. Особенно благоприятны небольшие медленные прогибания на отметках, близких к уровню моря.

Поднятия земной коры, предшествующие эпохе рудообразования, косвенно существенно влияют на процесс мобилизации рудных элементов. В ходе поднятия возникают архипелаги островов и континентальные массивы, в пределах которых начинается выветривание, размыв коренных материнских пород и вынос из них различных компонентов. Если зона рудоотложения первично представляла собой континент, то положительные движения будут способствовать активизации процессов сноса в области поднятий, что обусловит более интенсивное движение минеральных масс на поверхности земной коры.

Осадочное рудообразование, таким образом, характеризуется как бы особой восприимчивостью к режиму вертикальных тектонических движений. Незначительные изменения его могут немедленно привести к резкому и полному прекращению формирования рудных месторождений. Этим оно заметно отличается от процесса седиментации в целом. Последний может протекать на фоне тектонических движений различного типа. В частности, ему не препятствуют резкие тектонические движения большой амплитуды. Отложение осадков зачастую идет в областях с весьма сильно расчлененным рельефом и в пределах глубоких прогибов. Движения земной коры, значительные по скорости и амплитуде, предшествующие эпохе седиментации, лишь стимулируют процесс накопления осадков.

Если рудообразование развивается на фоне слабого прогибания, следующего за поднятием, то рельеф суши постепенно снижается, и рудные накопления будут заключены в толще пород, закономерно меняющих гранулометрический состав от крупнозернистых разностей внизу до относительно мелкозернистых в верхней части. Месторождения будут располагаться преимущественно в основании толщ пород, являющейся трансгрессивной серией и залегающей на более древних образованиях с параллельным стратиграфическим несогласием в пределах осадочного чехла платформ или с угловым несогласием на их фундаменте. Угловое несогласие устанавливается также в геосинклинальных областях. Примеры рудоносных отложений, размещающихся в трансгрессивных сериях, многочисленны. Сюда относятся многие месторождения железных и марганцевых руд, преобладающая часть бокситов и других полезных ископаемых.

Осадочные месторождения образуются и при поднятии земной поверхности на фоне все более резко выраженного рельефа. Отлагающиеся при этом регрессивные серии могут включать рудные залежи. Регрессивные серии характеризуются постепенным увеличением грубости зерна терригенной части пород по мере движения снизу вверх по разрезу. Известно несколько типов осадочных месторождений, связанных по времени с эпохами регрессий и территориально с воздымающимися областями земной коры. Сюда относятся месторождения самородной серы, широко распространенные месторождения медистых песчаников, сходные с ними по генезису месторождения ванадия и урана и некоторые другие рудные ископаемые.

Образование осадочных руд часто протекают на фоне стабильного стояния земной коры в эпоху, следующую за поднятиями. В этом случае месторождения будут приурочены к осадочным формациям, залегающим несогласно на более древних образованиях.

Некоторые особенности локализации первичноосадочного орудения в связи с тектоническими структурами платформ разбираются нами в третьей главе. Там же рассматривается влияние тектонических движений и структур на образование катагенетических рудных залежей.

#### РОЛЬ КЛИМАТА ПРИ ОБРАЗОВАНИИ МОРСКИХ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Климат является третьим основным фактором, который оказывает определяющее влияние на ход процесса осадкообразования в целом и на формирование осадочных рудных накоплений в частности. Наиболее велика его роль при выветривании на суше. Процессы седиментации, протекающие в водной среде морских бассейнов, в меньшей степени подвергаются воздействию климатического фактора. Это обстоятельство непременно следует учитывать при прогнозе различных экзогенных рудных месторождений.

Необходимо иметь в виду наличие микроклиматов, а также вертикальной климатической зональности. В результате этого на суше близко друг от друга могут оказаться породы, образующиеся обычно в условиях различных климатических зон. Поэтому подчас встречаются совершенно неожиданные сочетания ископаемых рудных залежей. В качестве примера можно указать на залегание гематитовых руд среди доломитовых пород, наблюдающееся на месторождении Победном близ Верхнеколымска (З. П. Потапова).

Климат — этот могущественный фактор разрушения горных пород, обуславливающий формирование на суше кор выветривания, остаточных и осадочных месторождений, во многом утрачивает свое значение при образовании морских осадков и рудных месторождений. Только этим объясняется тот факт, что отдельные фациальные типы осадка выдерживаются на весьма значительном протяжении и переходят из одной климатической зоны в другую. В качестве примера можно сослаться на современное распростра-

нение глобигериновых илов в Атлантическом океане. Они прослеживаются на огромном расстоянии от Северного полярного круга до экватора и далее на юг, пересекая границы зон умеренного, субтропического и тропического климата.

Что касается осадочных полезных ископаемых, то их отношение к климатическим зонам неодинаково: некоторые из них плохо укладываются в рамки современной климатической зональности. Так, известно, что современные торфы, отличающиеся повышенным содержанием малых и редких элементов, известны в различных климатических зонах, начиная от субполярной области и кончая тропиками. Современные фосфориты накапливаются на дне Тихого океана, у берегов Калифорнии; в Атлантическом океане — у побережья Западной Африки в зоне тропического климата; близ южной оконечности Африканского континента — в зоне умеренного климата и в других местах. По смыслу гипотезы образования фосфоритов, предложенной А. В. Казаковым, фосфориты могут образовываться в морских водоемах в различных климатических условиях. С другой стороны, такие полезные ископаемые, как соли, отчетливо тяготеют к засушливой зоне.

Тем не менее не следует забывать, что морские месторождения ряда полезных ископаемых теснейшим образом связаны с источником рудных компонентов. Таким источником являются коренные породы, подвергающиеся выветриванию на суше в условиях влажных климатических зон. Отсюда понятна косвенная связь многих морских месторождений с климатической зональностью.

В области накопления осадочных континентальных месторождений на суше роль климатического фактора весьма значительна, однако она меньше, чем при формировании остаточных месторождений, но играет большую роль, чем при формировании месторождений в морских водоемах.

Меньшее значение климатического фактора для накопления морских отложений по сравнению с континентальными подмечалось геологами и раньше (Н. М. Страхов). Однако при конкретных палеоклиматических построениях в большинстве случаев границы климатических зон, намеченных на суше, проводятся прямо через область морских водоемов до соседнего континента. Это вызвано полным отсутствием фактических данных из пределов огромных областей, занятых современными океанами.

### ГЛАВА III

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДОЧНОГО РУДНОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрим некоторые специфические особенности осадочного рудообразования, преимущественно те, которым до сих пор не уделялось достаточного внимания, но также имеющим существенное значение для прогноза и поисков различных месторождений.

Геологи все чаще убеждаются в том, что месторождения осадочных руд характеризуются сложным генезисом и формируются в несколько стадий, следующих друг за другом.

Первичные рудные залежи, образовавшиеся при накоплении осадка, могут претерпевать существенные изменения под воздействием более поздних процессов, протекающих в стадии диагенеза и катагенеза.

Рассмотрим кратко условия образования осадочных месторождений и выделим отдельные стадии, имеющие решающее значение при их формировании. Это можно сделать разными способами. Во-первых, путем детального изучения какого-либо одного или нескольких месторождений и затем выявления значения основных стадий при образовании рудных залежей на отдельных объектах. Во-вторых, можно наметить стадии рудообразования путем сопоставления различных месторождений между собой, а также с некоторыми современными рудными накоплениями и фаціальными типами осадков. Нами избран второй путь, допускающий более широкий подход к рассматриваемой проблеме.

### ПЕРВИЧНООСАДОЧНОЕ (СЕДИМЕНТАЦИОННОЕ) РУДООБРАЗОВАНИЕ

Образование осадочных рудных концентраций, протекающее первично в стадию накопления осадков, известно с давних пор. Оно постоянно привлекало и привлекает внимание геологов, многие из которых до последнего времени сводили весь осадочный рудный процесс к одному лишь первичному обогащению осадков рудным компонентом в области отложения. Эта стадия изучена наиболее подробно, что освобождает нас от необходимости детально разбирать ее. Она сводится к образованию первичноосадочных рудных концентраций, причем этот процесс в известной мере сходен с родственной ему седиментацией осадков и осадочных пород.

Здесь, так же как и при образовании осадков различных литологических типов (песков, глин, алевролитов и др.), сущность процесса в первом приближении заключается в накоплении на начальной поверхности седиментации минерального материала, образованного в результате разрушения исходных пород и перенесенного в область отложения.

Одним из главных отличий рудного процесса от формирования осадочных пород является высокая степень разделения минерального вещества при образовании исходного рудного материала, его переносе или отложении. В результате накапливается осадок, резко обогащенный полезным компонентом.

## Некоторые особенности первичного накопления минеральных веществ

Первичноосадочный рудный процесс протекает различными путями, особыми для каждого типа осадочных месторождений. Однако накопление рудного компонента и обогащение им осадка сводится к нескольким основным способам, общим для месторождений различных типов. Они зависят главным образом от особенностей среды отложения и от свойств рудного вещества.

*Если рудные минералы находятся в твердой фазе в материнской породе*, то они отделяются от главной массы минеральных компонентов породы при ее разрушении в ходе выветривания. В дальнейшем в водных потоках или в прибрежной зоне водоемов идет дифференциация за счет большей устойчивости минералов по отношению к воздействию различных агентов. Они обособляются как на месте выделения, так и при переносе вследствие значительного удельного веса, отличного от других веществ, различной плавучести и некоторых других свойств. В результате последовательного разделения образуются россыпные месторождения различных классов. Отделение рудных компонентов от пустой породы возможно и в воздушной среде. Оно осуществляется при перевевании рыхлых пород, содержащих рудные минералы, и приводит к образованию оловых россыпей.

Переотложение материала, находящегося в твердой фазе, играет существенную роль при образовании бокситов. Многие месторождения их формируются за счет размыва латеритной коры выветривания. При этом тончайшие частицы глинозема пелитовой размерности подхватываются поверхностными водами, отделяются от другого минерального материала и отлагаются в зоне седиментации. В результате образуется боксит, сложенный мельчайшими частицами глинозема, терригенную природу которых часто бывает невозможно установить. Отдельные бобовидные глиноземистые включения часто также вымываются из нее, переотлагаются и входят в состав седиментационных бокситов и бокситовых пород.

Большинство исследователей сходится на том, что размывы играют существенную роль при формировании пластов оолитовых железных руд. Можно предположить, что многие пласты таких руд произошли за счет перемыва осадочных пород, содержащих отдельные рассеянные рудные оолиты. При размыве последние были отделены от минеральных веществ исходной породы. Одни минеральные компоненты вымыты и вынесены из нее, другие же сохранились и вместе с железистыми оолитами составляют остаточную рудную залежь. Так, вместо породы с первичными рассеянными оолитами образуется руда, состоящая в основном из массы переотложенных железистых оолитов. Возможно, что такой генезис следует приписать некоторым рудам, связанным с речными олигоценовыми отложениями на месторождениях Приаральской группы, Лисаковском и Шидерты. Значение размывов хорошо проде-

монстрировано Б. П. Кротовым (1956) на примере Аятского месторождения. Таким образом, осадочный рудный процесс зачастую осуществляется, если полезный компонент находится в твердой фазе. При этом формируются всевозможные россыпи и отдельные месторождения других классов.

*Если рудный компонент растворен в водной массе, то можно выделить пять основных способов обогащения донных отложений:* 1) обменные реакции и пересыщение при испарении; 2) изменение физико-химических условий поверхностных вод (например, Eh и pH); 3) сорбция; 4) сосаждение; 5) коагуляция коллоидных растворов. Следует отметить, что в природных условиях нередко случаи совмещения нескольких из этих процессов.

1. Образование рудных концентраций за счет обменных реакций и пересыщения при испарении с переходом минеральных соединений в твердую фазу свойственно галоидным солям щелочных металлов, карбонатам и многим другим соединениям. Постепенное испарение приводит к насыщению, а затем и к пересыщению морской воды и превращению ее в рассол, после чего начинается переход растворенных солей в твердую фазу и выпадение их в осадок. На начальных стадиях испарения происходит образование хемогенного углекислого кальция, однако вследствие малой растворимости этого соединения выпадение его может происходить из морской воды и вод солоноватых и пресных озер. При других благоприятных условиях при одновременном пересыщении воды углекислым кальцием и магнием может идти садка двойной карбонатной соли этих элементов. Таким образом, по нашему мнению, происходит накопление современных доломитовых осадков в оз. Балхаш.

Например, родохрозитовые, олигонитовые и манганокальцитовые руды марганца, анкеритовые и, возможно, частично сидеритовые руды железа и т. п. возникают за счет обменных реакций карбонатов с другими соединениями металлов в морских, а иногда и в озерных бассейнах. Они выпадают в осадок в результате пересыщения водной массы соответствующим карбонатным соединением.

Некоторые металлы вступают в реакцию с органическими кислотами и дают сложные металлоорганические соединения. К числу последних относятся, например, гуматы железа и меди, легко растворимые в воде и имеющие большое значение при переносе этих металлов в области отложения. Значительный интерес представляют менее легкорастворимые соединения типа гумата уранила. Они могут давать существенные накопления в природных условиях (Манская и др., 1956). В частности, гумат уранила формируется в торфах и других скоплениях растительных остатков, где содержание его достигает заметных величин. Он может образовываться и в водах, богатых гумусом, например в болотах.

2. Соединения рудных элементов в ряде случаев становятся неустойчивыми в растворах с постоянной концентрацией. Причина

этого заключается в изменении физико-химических условий, в частности в изменении рН. Многие соли, подвергаясь гидролизу, разрушаются и дают новые труднорастворимые соединения, которые пересыщают раствор, переходят в твердую фазу и выпадают на дно. Так, соли двухвалентного железа, поступая в море, быстро гидролизуются, окисляются и переходят в весьма труднорастворимый гидрат окиси этого элемента. Произведение растворимости его чрезвычайно мало ( $10^{-33}$ ), вследствие чего он быстро выпадает в осадок, давая в ряде случаев рудные накопления на дне водоемов. Подобным образом происходит образование первичных гидроокисных руд железа, марганца, возможно, ванадия и некоторых других элементов.

Образование фосфоритов, согласно гипотезе А. В. Казакова, происходит в результате выделения фосфата кальция из морской воды под влиянием меняющегося парциального давления углекислоты ( $\text{CO}_2$ ). По мнению этого автора, океанические воды могут быть подразделены на ряд геохимических зон, располагающихся одна над другой.

Максимальное количество углекислоты и фосфат-иона содержится в них на глубинах от 350 до 1000 м (до 300—600 мг/м<sup>3</sup>  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). В прибрежной области эти воды могут быть вынесены глубинными течениями ближе к поверхности, где в них происходит уменьшение содержания  $\text{CO}_2$ . Этому способствуют прежде всего прогревание воды и уменьшение растворимости углекислоты, а также уменьшение гидростатического давления.

«Вследствие уменьшения парциального давления  $\text{CO}_2$  в этих восходящих слоях морской воды система ранее установившегося равновесия нарушается, и воды становятся пересыщенными по отношению к  $\text{CaCO}_3$  и  $3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ » (Казаков, 1939, стр. 79).

Карбонат кальция и фосфатное вещество переходят в твердую фазу и осаждаются раздельно (рис. 4): вначале углекислый кальций, а выше, на склоне дна, фосфатное вещество, которое в сторону берега сменяется терригенными отложениями прибрежной зоны.

Исследования А. И. Смирнова и др. (1962) показали, что океаническая вода с рН = 8,1 может содержать примерно в 2—2,5 раза больше растворимых фосфатов, чем полагал А. В. Казаков. По мнению упомянутых авторов, подщелачивание морской воды путем

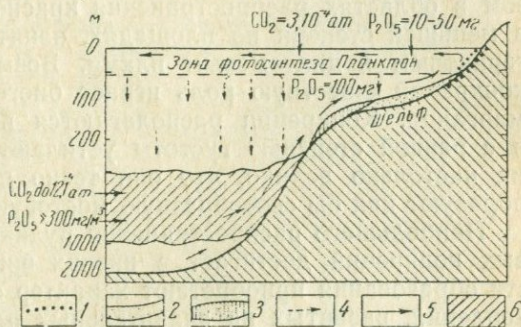


Рис. 4. Схема фосфоритообразования (по А. В. Казакову)

1 — фация береговых галечников и песков; 2 — фосфоритная фация; 3 — фация известковых осадков; 4 — падение мертвого планктона; 5 — направления течений; 6 — зона максимума  $\text{CO}_2$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  в морской воде.

удаления  $\text{CO}_2$  и смешения ее с щелочными водами может привести к химическому осаждению фосфоритов, представляющих собой смесь фторапатита, гидроксилapatита и фторкарбонатапатита. По составу они близки фосфатной части осадочных фосфоритов.

Хемогенная садка рудных компонентов играет существенную роль при образовании железо-марганцевых конкреций, широко распространенных на дне глубоководных частей современных океанов, представляющих собой в совокупности чрезвычайно интересную фацию морских рудных образований. Они развиты в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах, локализуясь главным образом в областях распространения красной глубоководной глины и в меньшей степени на площадях, занятых радиоляриевым глобигериновым и диатомовым илами. Возможно, что в образовании конкреций известную роль играет биогенное выделение железа и марганца. Конкреции располагаются прямо на поверхности дна и с разной степенью густоты устилают его. Местами количество их настолько велико, что они тесно прилегают друг к другу и образуют как бы своеобразную мостовую на дне океана.

Наибольшего распространения рудная фация железо-марганцевых конкреций достигает в низких широтах Тихого океана, где эти образования приобретают характер основного типа донных накоплений, развитых на значительных площадях. По направлению к полюсам количество их постепенно сокращается. Формирование конкреций происходит в открытой части океана, где скорость отложения осадков составляет примерно 1 мм в 1000 лет. В прибрежной зоне конкреции не образуются, хотя здесь существенную роль играет поступление материала с суши.

Конкреции представляют собой агрегат коллоидных и слабо раскристаллизованных гидроокислов марганца и железа, минералов глин и цеолитов, находящихся в тесном взаимном прорастании. В конкрециях определены псиломелан, тодорокит, бернессит и гидрогётит. Из них первый и последний являются основными рудообразующими минералами (П. Ф. Андрущенко и Н. С. Скорнякова).

Химический состав конкреций характеризуется широким кругом элементов, присутствующих в заметных количествах. Помимо основных — железа и марганца — в них обнаружены повышенные содержания титана, никеля, кобальта, меди и некоторых других рудных элементов (табл. 13).

Рудная фация железо-марганцевых конкреций широко развита на дне океанов.

В настоящее время неизвестны древние ископаемые аналоги современных железо-марганцевых конкреций, развитых на океаническом дне. Можно думать, что они будут обнаружены среди отложений формаций древних глубоководных образований.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и концентрация водородных ионов (pH) среды отложения играют определяющую роль при формировании рудных накоплений различных ме-

таллов. Как рН, так и Eh в области первичного отложения осадков подвержены весьма существенным изменениям и могут способствовать концентрации металла в стадию седиментации. Наряду с этим могут создаваться такие условия, при которых значения одного или обоих параметров будут исключать возможность накопления металла. Подобным же образом Eh и рН среды могут создать «запрещенную» обстановку для образования рудных минералов в стадию диагенеза или катагенеза или же при формировании остаточных месторождений коры выветривания.

Т а б л и ц а 13

Химический состав железо-марганцевых конкреций Тихого океана  
(по П. Ф. Андрущенко и Н. С. Скорняковой, Дж. Л. Метро, 1969)

Элементы	Число проанализированных проб	Содержание, вес, %		
		максимальное	минимальное	среднее
P	46	0,38	0,031	0,17
Ti	123	2,52	0,06	0,66
Mn	124	42,3	1,7	21,06
Fe	124	21,7	0,83	11,97
Ca	122	1,52	0,06	0,31
Ni	124	1,54	0,036	0,67
Cu	122	1,90	0,01	0,43
Zn	81	0,15	0,019	0,071
Ga	54	0,003	0,0002	0,001
J	54	0,045	0,033	0,016
Mo	86	0,071	0,006	0,04
Pb	90	0,25	0,011	0,10
C <sub>орг</sub>	17	0,27	0,08	0,14

В связи с этим особое значение приобретает знание полей устойчивости рудных минералов в параметрах рН и Eh. Известно, что, используя изменяющиеся значения рН и Eh, можно проследить условия устойчивости минералов, возникающих на земной поверхности или в зоне гипергенеза в верхней части земной коры (Garrels, Christ, 1968). Эти авторы, используя данные Пурбэ и результаты своих исследований, построили диаграммы полей устойчивости в виде функций рН и Eh для ряда твердых веществ. По оси ординат откладывается значение Eh в вольтах, а по оси абсцисс — рН. На диаграммах выделены поля устойчивости воды, ограниченные линиями равных значений отношений рН, а также Eh.

Не вдаваясь в рассмотрение методов построения полей устойчивости, подробное изложение которых можно найти в книге Р. М. Гаррелса и Ч. Л. Крайста (Garrels, Christ, 1968), приведем диаграмму соотношения между некоторыми соединениями марганца в воде (рис. 5). Из рис. 5 видно, в частности, что манганит образуется в заданных условиях при рН от 6,5 и выше, пиролюзит может образовываться в более широком интервале рН, но при Eh не ниже +0,2 V и т. п. Используя приведенный график и другие, построенные подобным же образом, можно получить представ-

ление о величинах рН и Eh, при которых может идти образование того или иного минерала. Необходимо оговорить, что расчетные данные часто еще расходятся с результатами наблюдений над природными объектами и нуждаются в корректировке. Следует иметь в виду, что при использовании диаграмм необходимо учитывать также наличие различных компонентов, растворенных в воде. Так, в случае минералов железа и марганца необходимо знать парциальное давление  $\text{CO}_2$ , количество ионов серы в растворе и т. п.

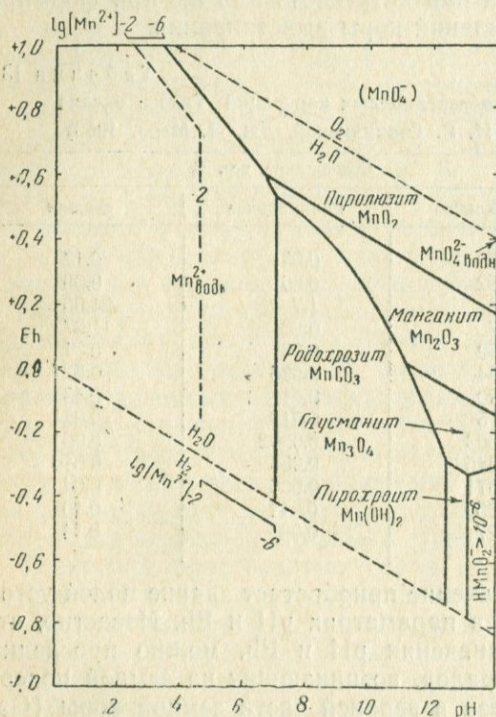


Рис. 5. Соотношения устойчивости между некоторыми соединениями марганца в воде при 25° С и 1 атм общего давления. Сумма растворенных карбонатных компонентов равна  $10^{-1.4}$  (Garrels, Christ, 1968)

соединения не могут вступать в химические реакции вследствие чрезвычайно малой концентрации или в результате защитного действия различных органических и минеральных соединений, то они могут быть извлечены из вод поглощением сорбирующими веществами.

Экспериментальные исследования по сорбции металлов из растворов низкой концентрации (Рожкова и Щербак, 1956; Рожкова и др., 1959; Каширцева, 1959 и др.) показывают, что ряд природных минеральных образований способен поглощать в лаборатор-

3. Ряд металлов, находящихся в природных водах преимущественно в рассеянном состоянии, извлекается из них за счет сорбции. Известно много хороших природных сорбентов, к числу которых прежде всего относятся: органическое вещество в разных его формах, гидроокиси железа, алюминия и марганца, фосфатное вещество, минералы глин и т. п. Сорбция играет доминирующую роль при образовании первичных рудных концентраций малых и редких элементов. Она представляет собой в основном физический процесс, протекающий весьма энергично и быстро. За счет сорбции могут быть извлечены элементы, находящиеся в ничтожных концентрациях в поверхностных водах. Если даже те или иные

ной обстановке заметное количество тяжелых металлов из разбавленных растворов их солей. К числу активно сорбируемых элементов относятся уран, свинец, ванадий, молибден и медь. Со временем список поглощаемых элементов, несомненно, будет значительно расширен. В него должны войти еще многие малые, редкие и рассеянные элементы, часто встречающиеся в виде примеси в фосфоритах, бокситах, горючих сланцах и т. п.

В опытах, поставленных упомянутыми авторами, сорбция осуществлялась в статических и динамических условиях. В первом случае сорбент вносился в разбавленный раствор соли тяжелого металла. Порошок сорбента весьма быстро поглощал значительное количество металла, который частично выносился (десорбировался) при последующем промывании сорбента дистиллированной водой. Часть металла удерживалась сорбентом, несмотря на последующую обработку (прочная сорбция, по Е. В. Рожковой); она-то и имеет наибольшее значение для образования осадочных рудных накоплений.

Опыты показали, что поглощение металлов идет и в динамических условиях, когда через порошкообразное сорбирующее вещество в течение длительного времени пропускается раствор, содержащий соединения того или иного металла. Для характеристики сорбционных процессов приведем цифры прочной сорбции, полученные в статических условиях (табл. 14 и 15).

Таблица 14

Сорбция тяжелых элементов в статических условиях на различных сорбентах (по Е. В. Рожковой и др., 1959)

Сорбент	Содержание иона в 50 мл исходного раствора, мг	Прочная сорбция на 1,5 г сорбента		рН равновесного раствора
		гм	%	
<i>Уран в форме <math>UO_2^{2+}</math></i>				
Бурый уголь . . . . .	8,6 (0,064)	4,5 (0,033)	0,45	5,80
Гуминовая кислота . . . . .	6,4 (0,475)	10,0 (0,074)	1,0	5,20
Гидрат окиси железа . . . . .	6,3 (0,047)	2,3 (0,017)	0,20	6,59
Фосфорит . . . . .	5,9 (0,44)	3,8 (0,028)	0,39	4,40
Монтмориллонит . . . . .	5,9 (0,044)	0,68 (0,005)	0,06	4,62
Каолинит . . . . .	5,9 (0,044)	0,27 (0,002)	0,02	4,90

*Ванадий в форме  $VO_2^{2+}$*

Бурый уголь . . . . .	2,4 (0,057)	0,8 (0,022)	0,11	1,5
Фосфорит . . . . .	3,7 (0,088)	0,4 (0,010)	0,025	3,3
Каолин . . . . .	1,8 (0,044)	9,25 (0,006)	0,018	3,7

Сорбент	Содержание иона в 50 мл исходного раствора, мг	Прочная сорбция на 1,5 г сорбента		рН равновесного раствора
		мг	%	

*Ванадий в форме VO<sub>3</sub>*

Бурый уголь . . . . .	3,7 (0,037)	0,7 (0,007)	0,04	5,36
Фосфорит . . . . .	5,0 (0,050)	0,4 (0,004)	0,02	5,0
Каолин . . . . .	4,4 (0,004)	0,2 (0,002)	0,01	3,2

*Молибден в форме MoO<sub>3</sub><sup>+</sup>*

Бурый уголь . . . . .	0,03 (0,006)	0,017 (0,003)	0,01	5,64
Фосфорит . . . . .	0,6 (0,110)	0,03 (0,006)	0,02	4,7
Каолин . . . . .	0,6 (0,110)	0,06 (0,010)	0,03	4,7

*Молибден в форме Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub><sup>6-</sup>*

Бурый уголь . . . . .	1,8 (0,010)	0,5 (0,003)	0,03	5,6
Фосфорит . . . . .	53,0 (0,300)	0,08 (0,0005)	0,005	4,9

Примечание. Цифры в скобках означают содержание металла в миллиграмм-эквивалентах.

Таблица 15

Сорбция свинца\* в статических условиях на разных сорбентах  
(по Е. В. Рожковой и О. В. Щербак, 1956)

Сорбент	Содержание свинца в 50 мл исходного раствора, мг	Прочная сорбция на 1,5 г сорбента		рН равновесного раствора
		мг	%	
Бурый уголь . . . . .	9,40	7,80	0,52	4,50
Гидрат окиси железа . . . . .	9,40	4,35	0,29	4,30
Железная руда . . . . .	9,40	4,95	0,33	4,46
Каолинит . . . . .	4,74	0,90	0,06	5,42

\* Из раствора азотнокислой соли.

Поглощение металла зависит от многих причин и прежде всего от характера сорбента. Так, уранил-ион извлекается из растворов одной концентрации разными сорбентами в неодинаковых количествах. Наибольшее содержание его (1%) определено в гуминовой кислоте; наименьшее (0,02%) — в каолините (см. табл. 14). Сорбционная способность вещества зависит от его удельной поверхности и возрастает при увеличении последней. На сорбционную способность оказывает влияние также и величина электрокинетического потенциала. Весьма существенную роль играет концентрация

раствора, из которого происходит поглощение. Сорбированное количество тем больше, чем выше концентрация исходного раствора. Из природных вод, отличающихся ничтожным содержанием растворенных металлов, поглощение происходит в незначительных, но все же заметных количествах.

Заслуживает внимания тот факт, что многие сорбенты способны поглощать комплексные ионы металлов, имеющие различные заряды. Так, ванадий в форме ванадила и ванадата поглощается бурым углем, фосфоритом и каолинитом, причем в близких количествах. То же можно сказать и о различно заряженных ионах молибденовых соединений (см. табл. 15).

Природные вещества, способные активно поглощать один металл, сохраняют это свойство и в отношении других. На первом месте в ряду сорбентов находится органическое вещество угля или его составные части. Так, бурый уголь сорбирует большое количество уранил-иона, значительное количество ванадия и молибдена, исключая  $\text{MoO}_3^-$  (см. табл. 14), а также свинца (см. табл. 15) и меди (табл. 16).

Таблица 16

Сорбция меди\* в статических условиях на разных сорбентах  
(по М. Ф. Каширцевой, 1959)

Сорбент	Содержание меди в 50 мл исходного раствора, мг	Прочная сорбция на 1,5 г сорбента		рН равновесного раствора
		мг	%	
Бурый уголь . . . . .	7,8	1,65	0,11	4,24 (близкие цифры получаются при увеличении рН до 5,3 и 6,8)
Гуминовая кислота . . . .	7,8	1,5	0,1	
Полевой шпат (порошок) .	7,8	0,6	0,04	

\* Из раствора серноокислой соли.

Характерно, что тонко растертый порошок различных минералов, например полевых шпатов, способен сорбировать тяжелые металлы, в частности медь (см. табл. 16).

Условия среды, влияющие на величину сорбции, еще недостаточно хорошо изучены. Неясно, в частности, влияние величины рН. По данным М. Ф. Каширцевой (1959), величина рН раствора не влияет на сорбцию меди. Е. В. Рожкова и др. (1959) намечают сложную зависимость между величиной рН и количеством сорбируемого урана, молибдена и ванадия.

Процессы сорбции, широко распространенные в природе, не оказывающие заметного влияния на формирование осадочных пород, играют весьма существенную роль при образовании осадочных рудных концентраций. За счет сорбции образуются широко извест-

ные накопления редких элементов в торфе, углях, горючих сланцах, асфальтитах, рудах алюминия, железа и марганца, фосфоритах, реже в глинах и других образованиях. Сорбция приобретает особое значение в результате того, что она протекает в чрезвычайно больших масштабах, причем в ней могут участвовать различные природные вещества, вплоть до полевошпатовых и кварцевых зерен пелитовой размерности. Извлечение металлов может происходить из огромных объемов природных вод и в течение длительного времени. Все это делает сорбцию одним из ведущих процессов осадочного рудообразования для малых и редких элементов.

4. Значительную роль играет также соосаждение рудных элементов, находящихся в рассеянном состоянии в водной массе, с каким-либо химическим соединением, пересыщающим морскую воду и переходящим в твердую фазу. Явление подобного рода имеет место при образовании фосфоритов, которые заметно обогащены редкими и рассеянными элементами. Часть последних нередко входит в решетку фторапатита. В частности, уран, в ряде случаев накапливающийся в фосфоритах, входит в кристаллическую решетку фосфата. Это не исключает того, что некоторое количество урана может находиться в фосфоритах в сорбированном состоянии. Можно предполагать, что соосаждение играет большую роль при образовании рудных концентраций малых, редких и рассеянных элементов, однако этот процесс изучен еще недостаточно. Образование марганцовистых известняков можно рассматривать как результат соосаждения карбонатов кальция и марганца.

5. Очень многие рудные элементы переносятся в поверхностных водах в форме коллоидных растворов. Точное количество их пока что не поддается учету, равно как неясна и общая роль коллоидных процессов при образовании осадочных пород и особенно осадочных руд. В пресной речной и озерной водах коллоиды долгое время не коагулируют. Они находятся под защитным воздействием органического вещества, кремнекислоты и, возможно, некоторых других минеральных образований. Уже давно установлено, что коллоидный кремнезем и гумусовые вещества способны защищать коллоидную водную окись железа. По-видимому, такое же воздействие оказывают они и на малоустойчивые коллоиды других рудных элементов и тем самым способствуют перемещению их в поверхностных водах. С течением времени при изменении содержания защитных соединений происходит частичная, а иногда и массовая коагуляция коллоидов. Этот процесс наблюдается в пресных водах, обычно в озерах. Особенно активно идет коагуляция в местах впадения рек в морские водоемы, где коллоиды попадают в совершенно иные физико-химические условия. Здесь прежде всего сказывается влияние электролитов морской воды, вследствие чего коллоиды теряют свой заряд и коагулируют.

Во многих случаях количество коллоидных соединений различных металлов, накапливающихся в болотах, на дне озерных и морских водоемов, настолько велико, что эти накопления приобретают

характер руд. К ним относятся современные болотные руды Белорусской ССР и широко известные озерные руды. Карелии, Финляндии и стран Скандинавского полуострова. По данным Ф. В. Чухрова (1955), за счет отложения из коллоидных растворов образовались многие озерные железные и марганцевые руды, озерные бокситы, морские железорудные и бокситовые месторождения, а также руды других металлов.

### Синхронное и асинхронное первичноосадочное рудообразование

Процесс формирования первичноосадочных месторождений часто распадается на два основных этапа. В течение первого из них происходит своеобразная подготовка минерального вещества материнских пород, протекающая на суше. Она сводится чаще всего к глубокому химическому выветриванию. В результате материнские породы, претерпевшие выветривание и более или менее глубоко переработанные, становятся весьма благоприятным исходным материалом. Рудные компоненты в них освобождаются от связи с другими минеральными веществами. Второй этап, часто неотделимый от первого, заключается, во-первых, в размыве минеральных образований на суше, в том числе коры выветривания и ранее сформированных остаточных месторождений, во-вторых, в переносе размывших минеральных веществ и, в-третьих, в переотложении их с образованием пород и первичноосадочных руд. В целом к этому этапу относится седиментационное накопление рудных компонентов, происходящее за счет выноса их из зоны выветривания на соседних территориях. Этап седиментационного накопления может происходить не только одновременно с формированием коры выветривания, но и после за счет концентрации элементов, частично выносимых из ранее образованной коры.

Основные этапы образования осадочных рудных месторождений иногда отделены значительным промежутком времени, достигающим одного или нескольких геологических периодов. В течение этого времени рудный компонент находится в подготовленном и как бы «законсервированном» состоянии, чаще всего в коре выветривания.

В подобных условиях рудный процесс становится резко разновременным, асинхронным, в отличие от синхронного процесса, когда одновременно осуществляется подготовка рудного компонента на суше, а также его вынос и отложение в области седиментации.

Месторождения, образующиеся за счет выделения полезного компонента из морской воды, обычно асинхронны. Накопление рудного элемента в водной массе может протекать длительно. Затем условия меняются и происходит более или менее массовый переход его в твердую фазу и накопление в осадках. Вероятно, так формировалась значительная часть железистых кварцитов докембрия, о чем уже говорилось.

При работах по прогнозу следует учитывать исходя из данных геологической истории района, к какому типу наиболее вероятно относятся те или иные предполагаемые месторождения. Если они синхронные, то следует выявить климатические условия лишь одной рудной эпохи, когда одновременно происходила подготовка минеральных масс на континенте и их отложение в области седиментации. В случае асинхронных месторождений следует отдельно реконструировать климатические условия, соответствующие первому и второму этапам рудообразования.

### Два типа руд и рудных фаций

Первичноосадочные руды образуются в различных условиях, резко дифференцированных для отдельных полезных ископаемых и зависящих от особенностей зоны седиментации. Наряду с этим условия в области седиментации, ее фации и особенности осадка могут определяться наличием того или иного рудного компонента и его содержанием в донных отложениях. Есть все основания выделить фации железистых и марганцовистых илов, фосфоритовых песков и других рудных накоплений. Для наших целей при выделении рудных фаций правильнее всего руководствоваться наличием рудного компонента и содержанием его в составе осадков и осадочных пород. Такой подход позволяет разделить рудные фации на две ясно выраженные группы, каждой из которых будет соответствовать определенный тип руд. Это, во-первых, фации и руды макроэлементов; металл дает значительные первичные концентрации в осадке, причем содержание его определяется десятками процентов. От них принципиально отличаются фации и руды второй группы, в которых полезный компонент составляет ничтожную примесь, измеряющуюся обычно долями процента или, как исключение, достигающую 1—3%. Сюда преимущественно относятся породы, обогащенные малыми, редкими или рассеянными элементами. Они могут являться богатой рудой для добычи меди, ванадия, германия и многих других металлов или образовывать природнолегируемые руды типа кобальт- или никельсодержащих железных руд.

*Руды первого типа.* Это руды таких элементов, как железо, алюминий, марганец, фосфор, а иногда и медь. К этой группе, в известной мере условно, могут быть отнесены также накопления органического вещества и минеральных солей.

Содержание полезного компонента в железных, марганцевых, фосфатных рудах и бокситах 20—50% и более. Содержание солей и органического вещества в составе отложений достигает еще больших величин. Рудный компонент, таким образом, играет важную, а иногда доминирующую роль в составе осадка, а нередко находится в заметном количестве в водной среде области отложения. Это обстоятельство оказывает определенное влияние на характер среды — фации отложения — и свидетельствует о ее фи-

зико-химических особенностях и в известной мере сказывается на жизни донной фауны и планктона. В фациях этого типа жизнь бывает зачастую подавлена, на что указывает отсутствие остатков организмов, характерное для многих первичных руд. Важной отличительной особенностью последних является также и то, что рудные элементы дают, как правило, самостоятельные минералы.

В условиях рудной фации на дне, в области седиментации образуются железистые, фосфористые, марганцовистые и другие илы, представляющие собой господствующий тип отложений. Иногда дно покрыто оолитовыми рудными накоплениями или минеральными выделениями различного типа, образующими более или менее сплошную корку. Рудные илы состоят из скоплений тонкодисперсных кристалликов рудных минералов, обладающих неупорядоченной структурой, с примесью того или иного количества терригенного материала и других минеральных образований. В других случаях они представляют собой скопления мельчайших ступков аморфного рудного вещества, образовавшегося за счет коагуляции коллоидов. Последние в момент отложения состоят преимущественно из водных окислов рудных элементов. Известны также рудные пески, крупные монетные и другие рудные накопления.

Важной особенностью рудных отложений является, как правило, малое количество органического вещества, содержащегося в них. Разложение органического вещества не может существенным образом изменить физико-химический характер среды, господствующей в грунтовом растворе, и поэтому развитие процессов диагенеза в рудных отложениях обычно весьма незначительно.

В современных железорудных фациях, известных в озерах Карелии, можно наблюдать, как главные свойства осадков зависят в значительной степени от присутствия в них железистых минералов. Последние определяют состав осадков, их текстуру, цвет и ряд других физических свойств. Это влияние сказывается несмотря на то, что рудоносные отложения содержат примеси, количество которых превосходит 50% от веса осадка. На площади дна осадки рудной фации переходят в донные отложения другого типа, которые вначале содержат незначительное количество рудных элементов, а по мере удаления полностью освобождаются от них.

Другой пример рудной фации первого типа относится к области Тихого океана, примыкающей к западному побережью Калифорнии. Здесь на дне на глубинах в 60—90 м залегают своеобразные фосфоритовые пески, сформировавшиеся в верхнем плейстоцене и содержащие от 4 до 12% фосфорного ангидрида. Суммарные запасы составляют ориентировочно 1,5—3 млрд. т  $P_2O_5$ .

В условиях рудных фаций первого типа рудные элементы обычно переходят в твердую фазу в результате химических реакций, причем образуются труднорастворимые соединения, выпадающие в осадок. Соединения рудных элементов часто пересыщают воду за счет увеличения концентрации при испарении, как при образовании солей. Истинные растворы могут становиться неустойчивыми в

изменившихся физико-химических условиях среды. Кроме того, происходит коагуляция коллоидов. Рудные элементы переходят в новые, более труднорастворимые соединения, которые начинают выпадать в осадок, обогащая донные отложения. Реакции, в которых участвуют соединения рудного элемента, сами оказывают некоторое влияние на физико-химические условия среды, в известной мере определяют или несколько изменяют их. Иногда происходит соосаждение с основным рудным компонентом и других металлов, находящихся в водной массе, и физический захват их вследствие сорбции. В результате получаются комплексные руды, в которых помимо основного элемента находится примесь других, второстепенных. Эти процессы объясняют примесь легирующих элементов в железных рудах, наличие редких земель в фосфоритах и т. п. Сказанное не относится к фации россыпей, где рудные накопления образуются за счет аккумуляции обломочных минералов.

В целом характер осадков рудных фаций первого типа в значительной мере определяется присутствием рудного компонента.

*Руды второго типа.* Данные руды характеризуются невысоким содержанием металла. При этом обычно не обнаруживаются самостоятельные минералы рудного элемента. Он весь связан с основной массой породы или какими-либо главными компонентами ее. Поскольку полезный компонент составляет ничтожную часть от массы осадка, он, несомненно, поступает в ограниченном количестве в область отложения, не оказывает при этом существенного влияния на окружающую среду и заметно не воздействует на условия отложения.

При оценке возможных способов образования рудных концентраций этого типа следует исходить: 1) из ничтожно малых содержаний рудных элементов в поверхностных водах и воде мирового океана (см. табл. 9 и 11); 2) из факта приуроченности рудных концентраций к определенным осадочным отложениям на дне водоема. Существует узкий круг пород и руд, с которыми обычно связываются концентрации малых, редких и рассеянных элементов. Наиболее характерные типы пород и руд, содержащие элементы-примеси:

железные руды	— Co, Ni, V, As, Cr, Ge
марганцевые	— Co, Ni, Mo
бокситовые	— Ti, Cr, V, Mo, Ga, Zr, Be, Sc, Nb
горючие сланцы	— V, Mo, Cu, Ni, Ag, U, Au, Zn, Pb, Cr
угли	— Mo, Ni, Ag, Au, Ge, Bi, U, V
фосфориты	— TR, Mo, V, Ag, As, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Pb, U
глины	— Zn, Mo, Ni и др.

Учет упомянутых особенностей позволяет допустить, что концентрация элементов в отложениях фаций второго типа осуществляется особым путем. Основываясь на экспериментальных данных, можно считать, что сорбция является ведущим процессом в такого рода обогащении. Процесс сорбции осуществляется почти мгновенно, причем из таких разбавленных растворов, в которых

не могут идти химические реакции обычного типа. Значительную роль играют также соосаждение, образование металлоорганических соединений и т. п.

Соединения большинства малых, рассеянных и редких элементов находятся в поверхностных водах в настолько незначительных количествах, что суммарные содержания их весьма ограничены. Если в области шельфа, где и идет в основном осадочное рудообразование, вся масса какого-либо элемента выпадет на дно и распределится в метровой толще осадка, это не приведет к существенному его обогащению. Легко подсчитать, что при содержании металла  $5 \cdot 10^{-6}$  г/л (или 0,005 мг/л) суммарное количество его в 200-метровом слое воды на  $1 \text{ см}^2$  поверхности дна составит лишь 0,2 мг. Если это количество распределится в метровом слое донных отложений, то содержание в осадках будет совершенно ничтожным. Только если предположить, что весь металл обогатит  $1 \text{ см}^3$  сухих донных осадков, то содержание в них достигнет 0,125%. Таким образом, израсходовав весь металл, накопившийся в морском водоеме за длительное время, можно получить заметное обогащение слоя ила толщиной всего 1 см.

Приведенный расчет показывает, что обогащение донных отложений, даже кратковременно, не может происходить повсеместно на больших площадях морского дна. Оно локализуется в тех местах, где в составе донных отложений накапливаются минеральные образования, способные так или иначе связывать малые и редкие элементы. Само поглощение микроколичеств элементов, «рассеянных» в воде, представляется мало вероятным. Для формирования рудных накоплений малых и редких элементов необходимо повышенное содержание их в воде.

При седиментации в условиях фации второго типа отлагаются обломочные, глинистые, карбонатные и другие осадки обычного типа. Они содержат весьма малые количества полезного компонента, которые не сказываются макроскопически на свойствах осадков. Внешне это глинистые илы, богатые органическим веществом, пласты торфа, рудные илы макроэлементов, фосфатный ил и другие осадки, в которых на первый взгляд никак не проявляется присутствие редких и рассеянных элементов. Последние также не оказывают заметного воздействия на физико-химические и другие особенности среды отложения.

Рудные фации второго типа известны в современных областях седиментации, например, в некоторых фиордах Норвегии, где донные отложения несколько обогащены ураном. Специфической особенностью водной среды фиордов является наличие сероводородного заражения. Сероводород сохраняется в течение круглого года, и лишь местами в заливах вода в придонной части периодически обогащается кислородом. Черные илы, накапливающиеся на дне фиордов, содержат от 0,002 до 0,06% урана (Strom, 1948), что в десятки раз выше кларка. Можно предположить, что в них содержится заметное количество и других металлов. Норвежские ис-

следователи связывают концентрации урана в черных сланцах с поступлением этого элемента в составе воды рек, впадающих в фиорды.

Другим примером рудной фации описываемого типа, но связанной с континентальными площадями, являются фация современных болот. В торфах, отлагающихся в болотах, близости от коренных месторождений урана, иногда отмечаются повышенные содержания этого элемента (о. Мадагаскар). Обогащение торфа происходит и в том случае, если он накапливается вдали от рудных месторождений, но в области развития пород, отличающихся повышенным содержанием рудного элемента.

### **Активные компоненты и их роль в рудообразовании**

Изучение осадочных руд второго типа показывает, что большинство малых, редких и рассеянных элементов связывается не со всей массой вещества осадков или осадочных пород, а лишь с определенными компонентами их. Подавляющая масса минеральных составных частей горных пород — зерна обломочного материала, карбонатное вещество и даже часть тончайших пелитовых частиц глинистого материала — индифферентны по отношению к процессу обогащения рудными элементами. В отличие от этого другие составные части осадков — органическое вещество, гидроокиси железа, алюминия и марганца, фосфатное вещество и некоторые глинистые минералы — являются активными компонентами, способными захватывать малые и редкие элементы и обуславливать обогащение ими донных отложений и осадочных пород. В благоприятных условиях активные компоненты могут связывать такое количество металлов, что общее содержание их в осадке или осадочной породе достигнет величин, допускающих практическое использование.

Одним из доказательств связи металла с активными компонентами является отсутствие в рудах самостоятельных рудных минералов, которые не удается обнаружить даже при использовании электронного микроскопа, рентгеноструктурного анализа и др. Несмотря на отсутствие рудных минеральных выделений, руда характеризуется высоким содержанием металла, которое устанавливается химическим анализом. Это возможно лишь при условии, что металл тесно связан с одним или несколькими минеральными компонентами, входящими в состав руды.

Указанием на наличие подобной связи может служить прямая зависимость содержания металла от содержания какой-либо другой составной части руды. Так, в урансодержащих песчаниках, цементированных фосфатным веществом, иногда устанавливается прямая зависимость между содержанием фосфата и урана. В этих образованиях с ростом содержания  $P_2O_5$  заметно увеличивается содержание урана. Такая же зависимость существует между содержаниями органического вещества и многих малых и редких

элементов в рудах. Данная закономерность может быть удовлетворительно объяснена, если допустить ассоциацию металлов с соответствующими активными компонентами.

В случае радиоактивных элементов распределение металла легко устанавливается с помощью радиографий и микродиографий, причем концентрация металла, например урана, достаточно точно фиксируется на фотопленке. Радиографии демонстрируют приуроченность урана непосредственно к выделениям органического вещества, стяжениям фосфатного вещества или к железистому цементу в таких породах, где нет и следов видимых минералов этого элемента.

Прямые доказательства тесной связи металла с определенными составными частями руд можно получить также, выделяя и анализируя их фракции. Так, после разделения центрифугированием в тяжелых жидкостях горючих сланцев на минеральную часть и органику рудные элементы — ванадий, молибден, никель, уран и др.; как правило, обнаруживаются в легкой фракции, состоящей в основном из органического вещества.

### **Полифациальность первичноосадочных руд**

Руды многих полезных ископаемых образуются на земной поверхности в различных условиях. Так, железные руды могут быть болотными, озерными, морскими и т. п. Концентрации ванадия известны в углях, горючих сланцах, железной руде и некоторых других образованиях.

Подобную полифациальность необходимо постоянно иметь в виду при прогнозах, чтобы не пропустить месторождения какого-либо одного фациального типа, сосредоточив все внимание на других, может быть, более распространенных.

Полифациальность месторождений первого типа чаще всего обусловлена тем, что рудный элемент широко развит в земной коре, существует в разных формах и может накапливаться в различной обстановке. При этом весьма существенную роль играют геохимические свойства элемента. Так, если сравнить между собой два наиболее распространенных металла — железо и алюминий, можно заметить существенную разницу между ними. Железо, имеющее меньший кларк, чем алюминий, отличается большей геохимической подвижностью, мигрирует в огромных массах и в отличие от алюминия дает месторождения, связанные с многочисленными фациальными типами осадочных отложений.

Полифациальность руд второго типа обусловлена связью металла с активным компонентом. Там, где накапливается последний, можно ожидать и образования рудных концентраций. Если металл способен давать соединения с различными активными компонентами, то полифациальность его выражается более отчетливо. Так, соединения урана связываются по крайней мере с двумя активными компонентами: с органикой разного состава и с фосфатным

веществом. Вследствие связи с органическим веществом рудные концентрации этого элемента встречаются в морских горючих сланцах, в континентальных лимнических углях и красноцветных толщах (около остатков растений). Первичные концентрации урана известны в скоплениях фосфатного вещества в платформенных и геосинклинальных фосфоритах, в песчаниках с фосфатным цементом и т. п. Таков далеко не полный перечень фациальных типов осадочных отложений, в которых встречаются первичные накопления урана. При этом во всех указанных случаях причиной концентрации металла является только связь с активными компонентами осадков и пород.

В осадочных породах многих типов постоянно наблюдаются ассоциации, или семейства, различных рудных элементов, дающих невысокие, но устойчивые концентрации. Так, в некоторых горючих сланцах одновременно присутствуют молибден, ванадий, уран, медь и некоторые другие элементы. Подобная ассоциация металлов в одной породе или руде определяется тем, что все они имеют сродство к активному компоненту, в нашем случае — к органике горючих сланцев.

Чаще всего макроэлементы не дают подобных ассоциаций в рудах. Даже родственные элементы в пределах одного пласта обычно четко обособляются друг от друга, давая отдельные рудные залежи. Это прежде всего относится к таким парам, как алюминий и марганец, марганец и фосфор, фосфор и алюминий, марганец и железо. Однако в некоторых случаях ассоциация окисного железа с алюминием достаточно широко распространена. Она постоянно наблюдается в бокситах. В виде исключения известны отдельные месторождения, где развиты марганцевые руды с высоким содержанием железа. Одно из таких месторождений Вафанцзы (КНР) описано в литературе (Фань Де-лянь, 1959).

Часто наблюдается приуроченность малых элементов к рудам железа и других макроэлементов. Однако в этих случаях существует ассоциация, отличная от описанных. Здесь основной рудный элемент составляет главную часть руды, он содержит подчиненные количества примесей и выступает как активный компонент (природно легированные руды).

### **Основные особенности первичноосадочных руд**

Ведущая роль при образовании осадочных месторождений принадлежит обычно первичному обогащению осадков рудными компонентами в стадию седиментации. Если этот процесс протекает достаточно интенсивно, то возникают более или менее значительные залежи первичноосадочных или седиментационных руд. При малой интенсивности процесса отложения металла образуются всевозможные оруденелые породы, содержащие примесь полезного компонента.

Характерными особенностями рудных накоплений в стадии сингенеза являются устойчивые содержания металла, значительные для макроэлементов и крайне невысокие для малых и редких элементов. Уменьшение содержания металла в руде и выклинивание руд совершается постепенно и происходит на фоне общего изменения фаций. Слоистая и тонкослоистая текстуры типичны для первичноосадочных руд.

Форма рудных тел в основном пластообразная. Это полностью относится к месторождениям, связанным с формациями морских или озерных отложений. Рудные тела, образованные в небольших водоемах типа мелких озер, имеют форму линз. Если месторождения приурочены к толще аллювиального или делювиально-пролювиального происхождения, то рудные тела имеют вид полособразных залежей и линз, отражающих форму ложбин стока. При накоплении в карстовых депрессиях, например в воронках, рудные тела приобретают изометричную форму, причем их мощность в ряде случаев превосходит ширину и даже длину залежи.

Первичные руды, образованные в фациях обоих типов, за исключением некоторых видов, не дают богатых концентраций. Даже в случае макроэлементов наиболее важные в промышленном отношении руды с высоким содержанием металла зачастую образуются при наложении на первичные концентрации более позднего обогащения, которое происходит за счет переотложения металла в диагенетическую или катагенетическую стадию, а также в ходе выветривания в зоне гипергенеза.

## РУДООБРАЗОВАНИЕ В СТАДИЮ ДИАГЕНЕЗА

После отложения первичные рудные концентрации, как и многие осадочные образования, переживают ряд существенных изменений. При этом происходит перераспределение вещества в пределах осадочной толщи; осуществляется переход осадков в породы; изменяются литологические особенности пород, в них возникают новые минеральные ассоциации; изменяется структура и текстура пород и т. п. Рудные концентрации могут быть существенно преобразованы в стадию диагенеза при переходе осадка в породу или в руду, а также в самих породах и рудах, но уже под влиянием катагенетических процессов, происходящих в осадочной толще. При всех этих процессах возможно обеднение и даже полное разрушение первичных залежей в результате выноса металла. С другой стороны, нередки случаи образования вторичных переотложенных рудных концентраций, налагающихся на первичные или же сформированные независимо от них. Особое положение занимают рудные концентрации, образующиеся в зоне выветривания осадочных руд, а также пород, первично обогащенных металлом.

Преобразования в осадочных толщах весьма многообразны. Согласно исследованиям Н. М. Страхова (1953), большинство аути-

генных минералов в осадочных породах образуется в диагенетическую стадию.

Возможность перераспределения рудных компонентов при формировании осадочных месторождений обычно недооценивается геологами. Однако наблюдения, сделанные в последнее время, показывают, что оно в некоторых случаях является одним из ведущих факторов рудообразования. Наиболее важную роль играет вторичное перераспределение в случае, если рудный элемент обладает значительной геохимической подвижностью. Вторичные рудные концентрации часто дают медь, ванадий, уран и некоторые другие элементы. В последнее время появились указания на перемещения металла в результате вторичных процессов при образовании руд таких металлов, как железо и марганец. Природные соединения этих элементов имеют различную валентность, что значительно увеличивает их подвижность в зоне осадкообразования и в осадочной оболочке в целом. Относительно небольшая роль принадлежит вторичным процессам на месторождениях бокситов, что обусловлено малой подвижностью алюминия. Диагенетические процессы в рудах двух основных типов протекают различно. Формирование рудных залежей макроэлементов, таких как пласты бокситов, железных и марганцевых руд, фосфоритов и некоторых других полезных ископаемых, происходит в результате первичного отложения. Диагенетические преобразования вещества играют здесь весьма малую роль. При образовании же руд второго типа диагенетические процессы протекают достаточно активно. Они во многом сходны с диагенезом обычных безрудных осадочных отложений.

Образование диагенетических рудных концентраций может осуществляться в различных условиях: 1) в осадке, связанном со средой отложения; 2) в осадке, изолированном от среды. Возникновение рудных концентраций в обоих случаях вызывается движением минеральных веществ в верхних частях слоистой оболочки земной коры, идущим после завершения седиментационной стадии.

*В осадках, еще не отделенных от среды отложения* и не перекрытых слоем более молодых образований, изолирующим их от водной массы, обычно наблюдается отчетливая связь между грунтовым раствором и придонной водой. Грунтовый раствор представляет собой всю воду, насыщающую осадок, залегающий на дне водоема. Количество ее достигает нередко 50% и более от общей массы осадка. Вода бассейна седиментации, сохранившаяся в промежутках между зернами обломочного материала или входящая в состав коллоидных масс осадка, вначале ничем не отличается от вод того моря или озера, в котором идет отложение. В дальнейшем состав ее постепенно меняется, и она превращается в грунтовый раствор, во многом отличный от первоначального. Эти изменения, хорошо изученные океанологами, вызываются прежде всего разложением органического вещества, захороненного в осадках, причем выделяется большое количество углекислоты, а также

такие продукты разложения, как сероводород, аммиак, метан и водород, являющиеся активными восстановителями. В результате появления значительных количеств углекислоты происходит подкисление грунтового раствора, рН которого, как правило, всегда более низкий, чем у придонной воды. Наличие восстановителей приводит к тому, что окислительно-восстановительный потенциал в илах также меньше, чем в воде, и ряд соединений, находящихся в форме окисных соединений в водной массе, дает закисные соединения в донных отложениях. Грунтовой раствор для многих соединений является более активным растворителем, чем придонные воды. Он может содержать заметное количество растворенных рудных элементов, например железа.

Разница в составе и физико-химических свойствах приводит к тому, что между придонной водой и грунтовым раствором происходит постоянный обмен веществами. Некоторые твердые составные части осадка растворяются в иловых водах и могут мигрировать обратно в водную массу. Так, гидроокисные соединения железа, поступившие в виде мелких сгустков в состав донных отложений, переходят здесь в закисные соединения этого металла, легко растворимые в воде. Они переходят вначале в грунтовой раствор, а затем диффундируют в придонную воду. Если в придонных водах оказывается более высокое содержание металла, чем в грунтовом растворе, соединения его диффундируют из придонной воды в осадок. Здесь он может давать соединения с компонентами грунтового раствора и переходить в твердую фазу.

Между водной массой и осадком устанавливается подвижное равновесие, которое схематично можно изобразить в следующем виде:

придонная вода  $\rightleftharpoons$  грунтовой раствор  $\rightleftharpoons$  твердая фаза осадка.

Смещение равновесия и направление процесса в ту или иную сторону зависят от ряда причин и в некоторых водоемах могут меняться в течение года.

Огромную роль в диагенезе играют растворение минеральных веществ в воде, пропитывающей осадок, и выпадение их вновь в форме иных минеральных образований, что может протекать в осадке, как связанном со средой отложения, так и изолированном от нее. Значение этого процесса впервые было оценено Н. М. Страховым (1953, стр. 23), который пишет: «В химической садке железа из водной массы бассейна фигурирует только гидроокись его  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Между тем во всех современных илистых осадках в значительном количестве находятся  $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeS}_2$ . Происхождение их связано с тем, что растворяющаяся после редукции  $\text{Fe}^{3+}$  закись железа реагирует с образующимся  $\text{H}_2\text{S}$ , давая мало-растворимые сульфиды железа, уходящие в осадок. Подобным же образом растворяющаяся в грунтовом растворе  $\text{CaCO}_3$  и основные углекислые соли магния, внесенные в ил биогенно, затем выпадают в осадок, образуя доломитные кристаллы. Фосфор, освобождающийся в процессе диагенеза из органического вещества, обра-

зует  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  — фосфатные кристаллы и зерна и так далее. Разгрузка грунтовых растворов от некоторых элементов сейчас же вызывает дополнительное растворение тех исходных соединений, в которых эти элементы первоначально были внесены в осадок. Затем вновь следует садка растворенного вещества в виде диагенетического минерала, новое растворение исходных соединений и т. д.».

По мнению Н. М. Страхова (1953), в результате процесса диагенеза образуются сидеритовые железные руды. «До диагенеза сидеритовых месторождений, как таковых, не существовало вообще. Вместо них на дне бассейна накапливалась лишь большая или меньшая масса гидрогёгита, диффузно рассеянного. Сидеритовые месторождения возникли в качестве месторождений железа лишь в процессе диагенеза осадков за счет перераспределения части Fe, до того диффузно рассеянного в илах, и стягивания его в конкреции или серии конкреций, из которых формируются пластобразные залежи сидерита» (Страхов, 1953, стр. 47).

Несомненно, что это один из путей образования сидерита в осадочных толщах. Однако чем мощнее залежь руды, тем труднее объяснить ее с позиций диагенетической концепции. Дело в том, что при образовании сидерита из гидрогёгита происходит восстановление железа, осуществляющееся за счет сероводорода, метана, аммиака и некоторых других соединений, образующихся при разрушении органического вещества. Следовательно, в пласте где происходит диагенетическое формирование сидерита, должно быть первоначально захоронено очень много органики. О количестве ее можно получить представление исходя из следующего расчета: по данным Н. М. Страхова, для перехода одной весовой единицы  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$  при превращении  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в  $\text{FeCO}_3$  требуется израсходовать 0,22 весовой единицы органического углерода. Чтобы этот углерод перевести в реальное органическое вещество, существующее в осадочных породах и состоящее также из водорода, кислорода, азота и других элементов, его нужно помножить на переходный коэффициент, условно принимаемый нами за 1,5\*. Получается, что для превращения одной весовой единицы  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$  требуется затратить около 0,33 единицы органического вещества. Если учесть разницу в удельных объемах сидерита и органического вещества (напримр, угля), то окажется, что на образование пласта сидерита должно пойти примерно такое же по объему количество органического вещества. Этот расчет необходимо иметь в виду при оценке возможности образования той или иной залежи сидерита в результате диагенетических процессов.

Можно предположить, что в пласте породы обычно находится достаточное количество органического вещества, чтобы восстановить рассеянные накопления окисного железа и дать мелкие вы-

\* По К. К. Гедройцу, коэффициент для пересчета органического углерода на органическое вещество почв составляет 1,727.

деления, конкреции и группы конкреций сидерита. В этом случае процесс, описанный Н. М. Страховым, представляется вполне реальным. Когда же мы имеем дело с крупными залежами богатых руд, имеющих пластообразную форму, трудно себе представить, что они произошли за счет восстановления окисных минералов железа, рассеянных в слое вмещающих пород. В этом случае не исключено первичное отложение сидерита в седиментационную стадию. При толковании сидеритовых руд в качестве диагенетического образования всегда следует выяснять возможный источник органического вещества и вероятное исходное количество последнего.

Н. М. Страхов (1953) склонен рассматривать оолитовое сложение гидрогётит-шамозит-сидеритовых руд как результат диагенетического процесса. Он приводит ряд интересных соображений в подтверждение своей точки зрения. Однако ее нельзя еще считать полностью обоснованной.

В последнее время появляется все больше работ, в которых отводится значительное место диагенетическим процессам в образовании различных минералов и руд. В природных условиях принципиально возможно обогащение металлом, осуществляющееся иным путем — за счет диффузии из водной среды в осадок. Необходимым условием для этого является более высокая концентрация рудного элемента в водной массе по сравнению с грунтовым раствором.

Подобное повышенное содержание металла в современных водоемах наблюдается редко. Но в течение известных рудных эпох (Альтгаузен, 1956) оно, несомненно, имело место в пределах отдельных регионов. Во время рудных эпох возможен привнос в водоемы железа в виде соединений с органическим веществом, например в форме легкорастворимых фульватов. Одновременно с железом в водную массу бассейнов могут поступать и накапливаться в ней такие металлы, как марганец, медь, уран и др.

Рудные элементы, диффундирующие в ил, быстро восстанавливаются, образуя труднорастворимые соединения. Последние переходят в твердую фазу и накапливаются в осадке. В результате грунтовой раствор относительно обедняется металлом. Это вызывает диффузию некоторого количества рудного элемента из водной массы в иловый раствор, причем таким образом восстанавливается сместившееся равновесие. Новая порция соединений металла в свою очередь восстановится, перейдет в осадок и обогатит ил. Тем самым опять нарушается равновесие между содержанием металла в воде и в иле, и создаются предпосылки для диффузии новых количеств его из придонного слоя воды. По такой схеме может идти обогащение донных отложений соединениями урана. Известно, что этот элемент мигрирует на земной поверхности в форме легкорастворимых соединений шестивалентного урана. В иле он быстро переходит в четырехвалентную форму, соединения которой относительно менее растворимы и выпадают в осадок. В грун-

товый раствор, обедненный ураном, будут диффундировать новые порции металла, которые в свою очередь перейдут в состав донных отложений.

Соединения меди обычно мигрируют в растворенном состоянии в поверхностных речных водах. В такой же форме находятся они в воде озерных и морских бассейнов. При относительно высоком содержании меди возможна диффузия ее в грунтовый раствор. Здесь она вступает в соединение с сероводородом и даст трудно-растворимые сульфидные минералы. По мере формирования последних все новые и новые количества рудного элемента будут диффундировать в грунтовый раствор. Этим путем возможно заметное обогащение медью донных отложений. Не исключено, что именно так чаще всего происходило накопление меди, ванадия, молибдена, никеля и некоторых других элементов в горючих сланцах, например в коловратитовых сланцах Средней Азии. Остается неясным вопрос о возможности образования подобным путем рудных накоплений типа меденосного пласта Мансфельдского месторождения.

В поверхностных водоемах могут создаться условия, при которых будет происходить диагенетическое обогащение донных отложений железом. В определенные рудные эпохи в бассейн отложения могут поступать значительные количества растворимых соединений этого элемента. Можно представить, что в донных отложениях водоема имеется сероводород, и все железо из грунтового раствора должно перейти в форму труднорастворимых сульфидных соединений, в том числе в пирит. В связи с этим все новые и новые количества железа начнут диффундировать в ил, чтобы возместить убыль, вызванную образованием сульфидов. Этот процесс прекратится лишь тогда, когда израсходуется весь сероводород, образующийся в осадке, или когда прекратится поступление железа в водоем. Однако промышленные накопления железных руд таким образом не возникают. Этому препятствует прежде всего постоянное наращивание донных отложений сверху за счет выпадения на дно новых количеств минерального материала. Кроме того, для образования большого количества сульфидных железных руд необходимо такое количество органического вещества, которого обычно нет в донных отложениях.

Концентрация металла, возникающая в осадках в результате диагенетических процессов, всегда относительно невелика. В этом кроется причина того, что такого рода обогащение не может привести к образованию рудных залежей макроэлементов, для которых необходимо содержание металла в десятки процентов. Иначе обстоит дело при формировании концентраций малых и редких элементов, когда содержание полезных компонентов измеряется долями процента. При значительной продолжительности диагенетической стадии возможно накопление в осадках таких количеств малых и редких элементов, что они начинают представлять практический интерес.

Все описанные процессы, строго говоря, являются диагенетическими, хотя накопление рудного компонента идет одновременно с формированием донных отложений. Принципиально возможно диагенетическое обогащение, протекающее подобным же образом, но при фиксации рудного элемента в осадке за счет связи его с каким-либо активным компонентом.

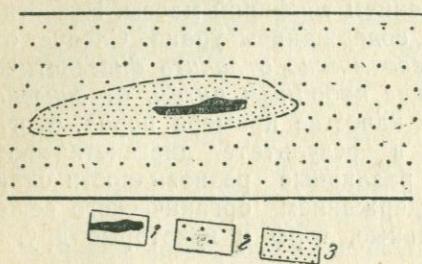
К диагенетическому процессу описываемого типа относится обогащение торфов различными рудными элементами, протекающее в болотах одновременно с накоплением торфяной массы. Известны торфяники, обладающие высоким содержанием урана. Следует отметить, что во многих случаях *невозможно отличить диагенетическое рудообразование, протекающее подобным путем, от сингенетического, первичноосадочного.* В качестве примера пород, обогащенных рудными элементами в результате диагенетических процессов, следует упомянуть различные разновидности сланцев, отличающиеся высоким содержанием органического вещества, угли, преимущественно зольные, торф и некоторые другие образования.

*В осадках, изолированных от среды отложений,* формирование диагенетических рудных концентраций идет в широких масштабах. Процесс протекает по-разному для руд макро- и микроэлементов. Для микроэлементов особенности диагенетического перераспределения во многом определяются характером активного компонента. Так, например, если рудное вещество связано с фторapatитом фосфоритов или с первичноокисными минералами руд железа или алюминия, оно, как правило, не перераспределяется ни при диагенетических, ни при катагенетических процессах. В этих случаях активный компонент настолько прочно связывают малые и редкие элементы, что они освобождаются лишь в особых условиях. Фосфатное вещество разрушается при интенсивном кислотном выветривании, причем поглощенные им элементы приобретают подвижность и могут вновь переходить в раствор, мигрировать и переотлагаться, однако достаточно кислая среда в донных отложениях, как правило, не наблюдается. Точно так же элементы, сорбированные первичноокисными рудными минералами железа и марганца, приобретают способность к миграции не ранее, чем будут растворены эти минералы. Окисные минералы железа и марганца, находящиеся в рассеянном состоянии в осадках, часто связывают некоторое количество редких и рассеянных элементов.

Металлы, связанные с такими активными компонентами, как органическое вещество, или с минералами глин, способны относительно легко приобретать подвижность и давать концентрации, образованные в ходе диагенетических процессов. Рудные минералы, находящиеся в слоях породы, а не в руде, восстанавливаются за счет органического вещества, находящегося в избытке по отношению к ним, переходят в растворимые соединения и при этом освобождают захваченные ими малые элементы, которые также активно участвуют в процессах перераспределения.

В диагенетическую стадию особенно распространено образование рудных скоплений около растительных остатков или вблизи них. При этом само углистое вещество либо совершенно лишено металла, либо содержит ничтожные количества его.

Рудные тела, связанные с остатками растений (рис. 6), весьма широко распространены на месторождениях медистых песчаников и сходных с ними руд, в частности на месторождениях Приуралья и в других регионах СССР. Связь с остатками растений хорошо известна для руд меди, ванадия и урана в осадочных мезозойских толщах района плато Колорадо (США).



**Рис. 6. Гнездо богатой медной руды:**  
1 — остаток древесины; 2 — песчаник; 3 — богатая руда, песчаник с вкрапленностью рудных минералов

Рудные тела этого типа имеют линзовидную форму, крайне невыдержаны, причем границы их зачастую пересекают слоистость вмещающих пород. Эти особенности рудных тел исключают возможность первичных концентраций полезного компонента. Они возникли в результате переотложения металла в пла-

сте и концентрации его около остатка растения.

Данный процесс мог протекать по следующей схеме: ряд продуктов разложения растительного материала, таких как сероводород, окись углерода, метан, аммиак и др., обладают восстановительными свойствами. При разложении растительных остатков эти компоненты создают вокруг своеобразный ореол восстановительных условий, существующий в породе в течение длительного времени. Размеры ореола зависят от величины растительного остатка, литологического состава и пористости вмещающих пород, от скорости разложения и от других факторов.

Соединения рудных элементов, заносимые пластовыми водами или иначе поступающие в пределы подобных ореолов, восстанавливаются и образуют труднорастворимые минералы, которые распределяются в породе и постепенно накапливаются. Для меди, железа, свинца и других это будут сульфиды; для урана — урановая смолка или урановая чернь; для молибдена — его сульфидные минералы и т. п. В результате в участках породы, захваченных ореолом, появляется вкрапленность рудных минералов, постепенное сгущение которой приводит к образованию рудного тела, чаще всего имеющего неправильно линзовидную форму. Ореолы восстановительных условий имеют наибольшее значение на начальных этапах разложения растительного вещества, совпадающего со стадией диагенеза. В это время выделяется главная масса активных восстановителей. В дальнейшем, к началу катагенетических изменений породы, растительные остатки частью углефицируются, при-

чем значительное количество летучих компонентов из них уже выделено; ореолы восстановительных условий к этому времени сокращаются или исчезают. Это не дает оснований, однако, полностью исключить возможность образования рудных концентраций около обуглившегося растительного вещества в стадию катагенеза. Такие процессы часто встречаются в природе.

В диагенетическую стадию в осадочных толщах возникает ряд новых минеральных образований, отдельные представители которых играют роль активных компонентов. Таково значение фосфатного вещества, формирующегося в диагенетическую стадию. Роль его в качестве активного компонента уже описана. Весьма вероятно, что фосфатное вещество, образующееся первичноосадочным путем, несет другой комплекс малых и редких элементов, чем диагенетический фосфат кальция. У нас нет данных, которые позволили бы в настоящее время конкретизировать эти отличия.

Принципиально новым активным компонентом является пирит, который возникает в стадию диагенеза, а также на более поздних стадиях формирования осадочных пород и руд. Известно, что с пиритом в осадочных месторождениях связываются селен, никель, кобальт, молибден и некоторые другие элементы. Он концентрирует их при своем образовании и способен удерживать в связанном состоянии вплоть до разрушения. Если при выветривании происходит разрушение пирита, освобождается часть редких элементов, то они поступают в пути миграции и могут давать новые накопления.

В условиях рудных фаций первого типа при образовании рудных концентраций макроэлементов диагенетическое перераспределение вещества проявляется относительно слабо или не осуществляется совсем. Основная причина этого заключается в том, что количество органического вещества в рудных илах недостаточно для обеспечения активного течения диагенетических процессов. В карбонатной марганцевой руде манганокальцитового состава обычно содержатся до 20% и более металла и всего лишь десятые доли процента органического углерода. Особенности этой руды не дают оснований считать, что в ней первоначально находилось большое количество органики, ушедшей затем на образование карбоната марганца. Последний, судя по всем признакам, образовался в руде первично в ходе осадконакопления. Можно предположить, что первоначальное количество органики в этой руде не превышало первых единиц процентов. Весьма вероятно, что примерно такие же количества органического вещества обычно находятся в составе первичных седиментационных накоплений окисных руд железа, марганца и в бокситовых осадках. При разложении органического вещества в этих отложениях образуются восстановители и уголекислота, однако количество их невелико и они быстро расходуются на растворение и восстановление части окисных рудных минералов. В то же время основная масса рудного элемента в иле остается в форме неизменных первичных соединений. Только в

отдельных местах в нем могут создаться условия, временно отличающиеся от первичных и допускающие переотложение металла. Они будут существовать до тех пор, пока в осадках сохранится реакционно способное органическое вещество. В целом в случае рудных фаций макроэлементов (фации первого типа) условия среды в рудном иле не будут резко отличаться от условий в придонной воде. В связи с этим невозможен переход в заметных масштабах различных соединений рудных элементов из грунтового раствора в придонную воду или обратно. Роль диагенеза рудных илов при наличии связи их со средой отложения, как правило, незначительна.

В пласте рудных илов, изолированных от среды отложения, не существует достаточно сильных факторов, которые могли бы повсеместно привести к крупным перемещениям рудного компонента в стадию диагенеза. В основном осуществляется лишь изменение состава минералов, не сопровождающееся значительной миграцией рудного вещества. Кроме того, меняются текстурные особенности руд, образуются линзовидные стяжения конкреционного характера, вырастают сферолиты, формируются мелкие линзовидные тела и т. п. Происходит раскристаллизация аморфного вещества и пере-кристаллизация дисперсных минералов с образованием более крупных минеральных выделений. Минералы начинают терять воду и постепенно переходят из гидратов окислов в окисные формы. Рудные илы постепенно отдают воду, отвердевают и переходят в плотную руду. При этом происходит увеличение содержания металла и естественное обогащение первичноосадочных руд.

### Особенности диагенетических руд

Для диагенетических руд характерно более высокое содержание металла, чем для седиментационных. В рудах наблюдается переотложение полезного компонента. Первичная однородность их нарушается: могут возникать диагенетические оолиты, сферолиты и конкреционные образования. Форма рудных тел преимущественно линзовидная и гнездообразная, иногда это выклинивающиеся пласты. Характерно непостоянное содержание металла, изменяющееся в широких пределах. Изменения содержания металла в породе часто происходят на незначительном расстоянии, несмотря на однообразный литологический состав. Границы рудных тел иногда пересекают слоистость.

В рудах малых и редких элементов металл в течение диагенеза может частично давать самостоятельные минеральные выделения, однако преобладающая часть его еще сохраняет тесную связь с активными компонентами. В континентальных толщах руды малых и редких элементов зачастую накапливаются около остатков растений.

Образование рудных концентраций в толще осадочных пород, протекающее в стадию катагенеза, представляет собой весьма распространенный процесс. Не смотря на то что оруденение этого типа известно на месторождениях разных полезных ископаемых, выделение катагенетических рудных образований связано со значительными трудностями. Основной причиной их является отсутствие надлежащих критериев, позволяющих уверенно отличить оруденение этого типа от диагенетического, с одной стороны, и от оруденения, произошедшего при метаморфизме осадочных серий,— с другой.

Отнесение рудных залежей к катагенетической стадии можно провести, изучая соотношения руды со вмещающими породами, с разрывными нарушениями, с элементами структуры складчатых дислокаций, с трещиноватостью и т. п. Если рудные проявления образовались после литификации пород, после тектонических нарушений и трещиноватости, пересекающих эти породы, они не являются диагенетическими и должны рассматриваться как катагенетические или метаморфогенные образования.

Большое значение имеет характер вмещающих пород. Так, если в них нет следов катагенетических изменений, то маловероятны проявления рудного процесса малоподвижных элементов, связанного с этой стадией. Что касается геохимически подвижных элементов, то катагенетическое рудообразование возможно даже в том случае, когда вмещающие образования не претерпели существенных изменений.

Если в регионе отсутствуют гидротермальные проявления и вмещающие породы не несут следов метаморфизма, что часто бывает в условиях осадочного чехла платформ, то все рудопроявления, обнаруживающие приуроченность к элементам тектонической структуры, следует отнести к числу катагенетических образований. То же относится и к оруденению, связанному с тектонической трещиноватостью осадочных толщ. В обоих случаях рудные залежи связаны с особенностями пород, обусловленными тектоническими движениями, которые имели место после завершения процессов диагенеза после цементации пород или полной консолидации их, иными словами, образуются в катагенетическую стадию.

Основное значение для распознавания катагенетических процессов при микроскопическом исследовании руд и оруденелых пород, залегающих в толщах, лишенных проявлений метаморфизма, имеет выяснение соотношений рудных минералов с цементом, а также с элементами текстуры, возникшими при диагенезе. Если рудные минералы развиваются по цементу и замещают его, то они образуются в катагенетическую или более поздние стадии, например связаны с ранним метаморфизмом. Точно так же рудные выделения в трещинах, пересекающих цемент и пересекающих конкреции

и сферолиты диагенетического происхождения, связываются с катагенетической стадией.

С катагенетической стадией связаны скопления рудных минералов, приуроченные к конкрециям, образовавшимся после завершения диагенетических процессов, а также выделения минералов, замещающие оолиты, развившиеся по сферолитам, а иногда по скелетным частям органоидов и т. п.

Переотложение рудного вещества в сформировавшихся породах протекает с различной степенью интенсивности и наиболее ярко проявляется в случае первичного накопления рудных образований в условиях фаций второго типа, когда осадок обогащен такими геохимически подвижными элементами, как уран, медь и ванадий. Эти и некоторые другие элементы, если они не связаны в устойчивые комплексы с активными компонентами, способны легко переотлагаться в пластах и давать рудные концентрации в катагенетическую стадию.

Органическое вещество продолжает играть весьма важную роль в процессе катагенетического изменения рудных концентраций. Если при отложении осадка оно интенсивно поглощало многие малые и редкие элементы, то в ходе последующих процессов — при диагенезе и особенно катагенезе — оно постепенно изменяется и теряет часть своих сорбционных свойств. При этом на отдельных этапах изменения частично или полностью разрушаются связи полезного компонента с органическим веществом. Рудный элемент как бы сбрасывается органикой и переходит в пластовые воды. Зачастую возникает настолько значительная концентрация соединений рудного элемента, что он приобретает способность вступать в реакцию с различными составными частями вмещающих пород и выделяться в твердую фазу. Прежде всего он может давать соединения с самой органикой, образуя металлоорганические комплексы. Кроме того, полезный компонент образует самостоятельные рудные минералы, которые не возникали в предыдущие стадии из-за ничтожно малых концентраций.

На более высоких ступенях изменения органического вещества, на завершающих этапах катагенетической стадии связи органического вещества с полезными компонентами вновь могут стать неустойчивыми. Прежде всего органические соединения могут в еще большей степени утратить способность сорбировать некоторые рудные элементы. Кроме того, различные металлоорганические соединения становятся неустойчивыми и в свою очередь разрушаются. В результате этих процессов рудные элементы вновь сбрасываются органическим веществом. Таково, по-видимому, происхождение мелких выделений урановых минералов в органическом веществе нефтяного ряда, выполняющем трещинки и пустоты в осадочных породах на отдельных месторождениях. Характерно, что сама органика не содержит урана.

При разрушении терригенных зерен, происходящем в результате катагенетических изменений породы, освобождаются некоторые

рудные элементы, также переходящие в пластовые воды. Особенно интересен в этом отношении биотит, который содержит железо, титан, цинк и другие элементы. Полевые шпаты часто имеют повышенные содержания бария, свинца и других элементов.

Металлы, перешедшие в пластовые воды, могут вступать в соединение с другими минеральными веществами, растворенными в водах и привнесенными из соседних частей пласта или из других пластов. Рудные элементы чаще всего вступают в соединение с сероводородом, давая выделения сульфидных минералов катагенетической стадии. Так образуются пирит, сульфиды меди, реже галенит и другие минералы, заполняющие трещинки в сформированных и полностью консолидированных породах и дающие скопления или отдельные рассеянные кристаллы.

В результате происходит формирование катагенетических концентраций, имеющих особенно большое значение, если они налагаются на первичные накопления, образовавшиеся при седиментации. Образующиеся при этом рудные залежи имеют линзовидную или пластообразную форму, они могут обладать также неправильными поверхностями ограничения, но, как правило, не выходят за пределы пласта, первично обогащенного рудным элементом. Содержание его в руде высокое, однако непостоянное и изменяется в широких пределах.

Происхождение катагенетических рудных тел, сформированных в зоне разрывных нарушений и в трещинах, связано с перетолжением рудных компонентов пластовыми водами. Рудные компоненты, находящиеся в составе пластовых вод, постепенно переносятся ими к зоне трещиноватости или к разрывному нарушению, по которому происходит отток пластовых вод. Здесь возможно смешение с водой, поступающей из соседнего пласта. При этом меняются условия среды; соединения рудных элементов становятся неустойчивыми в растворе и переходят в твердую фазу. Образующиеся рудные минералы накапливаются и обогащают породы на участках, примыкающих к трещинам и зонам разрывных нарушений. В самих нарушениях при интенсивной циркуляции подземных вод создаются условия, мало благоприятные для рудоотложения. Поэтому редко наблюдается выполнение крупных трещин в осадочных породах катагенетическими рудными минералами.

Большой интерес представляют своеобразные катагенетические рудные концентрации, связанные с окислительными и восстановительными процессами в зоне выветривания. Поверхностные воды, богатые кислородом и содержащие в растворенном состоянии уран, молибден, селен и др., могут обусловить образование рудных концентраций, а также крупных залежей, известных под названием роллов. Формирование последних, лучше всего изученное на урановых месторождениях, происходит по такой схеме (Головин, 1965): в пластах песчаных и других пород, допускающих активную фильтрацию воды, в случае значительного содержания в них органического вещества в виде форменных остатков растений, рассеянной

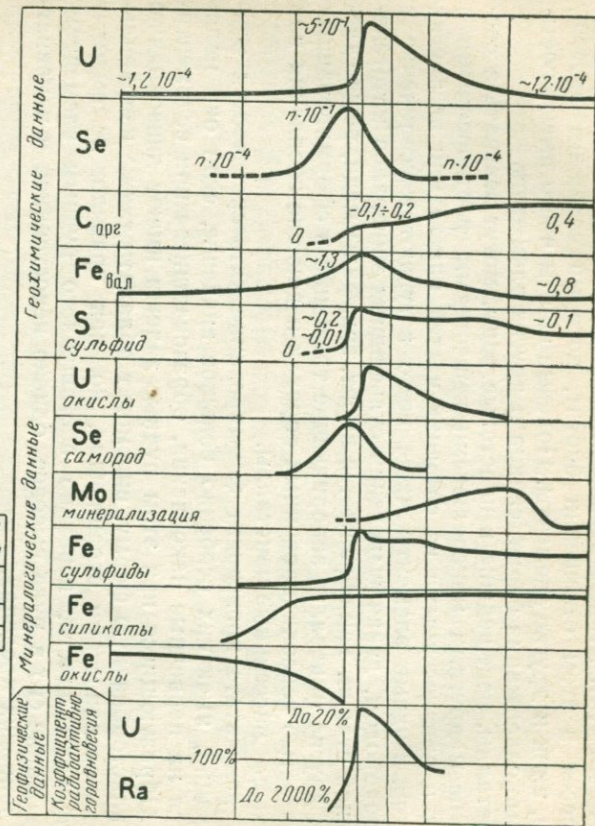
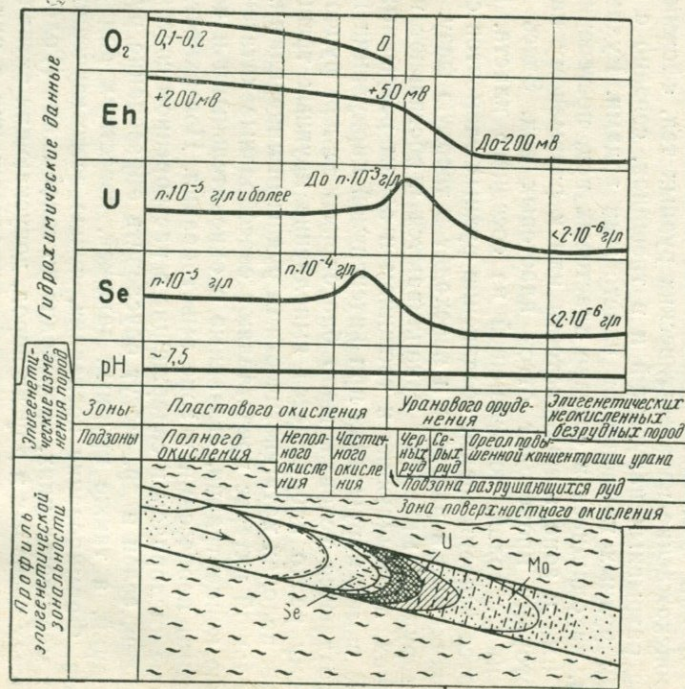


Рис. 7. Обобщенный профиль рудоконтролирующей эпигенетической зональности на месторождениях кислородного пластового окисления (по М. Ф. Каширцевой, 1970)

растительной органики, органических соединений нефтяного ряда и т. п., постепенно устанавливается следующая зональность. В верхней, считая по движению потока подземных вод, части пласта создаются ясно выраженные окислительные условия, поскольку здесь все активное и реакционноспособное вещество окислено, разрушено и его производные вынесены из пород. Ниже, там, где материнские породы пласта сохранили органическое вещество, существуют восстановительные условия, возникающие, возможно, за счет жизнедеятельности анаэробных бактерий.

На рис. 7 показано распределение рудных концентраций в наклонно залегающем пласте, выделены зоны и подзоны, устанавливающиеся при процессах подобного рода. Из рис. 7 видно, что ниже зоны пластового окисления, где резко изменяется  $Eh$ , происходит обогащение пород ураном. Несколько раньше происходит формирование руд селена, что касается молибденовой минерализации, то она располагается ниже урановых руд в зоне с наименьшими значениями  $Eh$ .

Роллы, возникающие в ходе описанного катагенетического процесса, обычно характеризуются специфической полукруглой формой. Выпуклая центральная часть их, приходящаяся на среднюю часть пласта, направлена по падению в сторону просачивания подземных вод. Фланги загибаются, приострены и направлены в сторону восстания пласта. Роллы, как и геохимическая зональность, порождающая их, зачастую прослеживаются на значительном расстоянии по простираению. Схема эпигенетической зональности в плане дает представление о распространении отдельных зон и последовательной смене их на местности (рис. 8).

Помимо описанного пути образования богатых катагенетических руд существует и другой, основанный на переотложении и концентрации металла, первично рассеянного в породе.

В рудных концентрациях макроэлементов, образованных в условиях рудных фаций первого типа, трудно установить наличие ката-

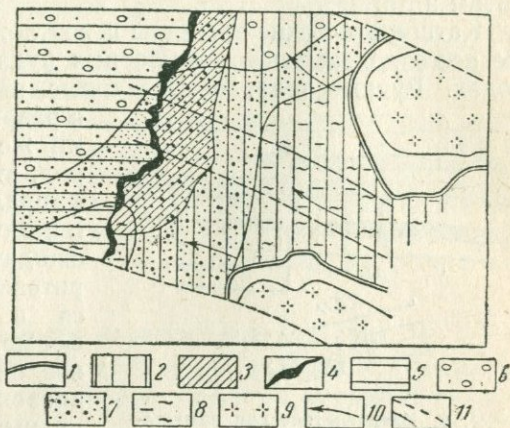


Рис. 8. Схематический план эпигенетической зональности (из книги «Экзогенные эпигенетические месторождения урана», Атомиздат, 1965)

1 — выход горизонта на поверхность; 2 — зона поверхностного окисления; 3 — зона пластового окисления; 4 — зона уранового оруденения; 5 — зона неизмененных пород.

Фациальные зоны (по Г. В. Тараборину): 6 — стрежневая — аллювиальная равнина; 7 — пристрежневые пески; 8 — пески и глины прирусловой зоны поймы; 9 — выходы пород фундамента; 10 — направление движения пластовых вод; 11 — разломы

генетических изменений. Полезный компонент накапливается в форме самостоятельных минеральных выделений, весьма устойчивых на земной поверхности, а также в верхних зонах земной коры. Понятно, что рудные элементы в этом случае, как правило, нелегко поддаются переотложению. Сказанное в первую очередь относится к соединениям такого малоподвижного элемента, как алюминий, и в меньшей мере к соединениям трехвалентного железа, фосфоритам и др.

Катагенетические процессы переотложения макроэлементов лучше всего доказываются в плотных рудах и сцементированных породах. Рудные тела, образованные в эту стадию, связываются

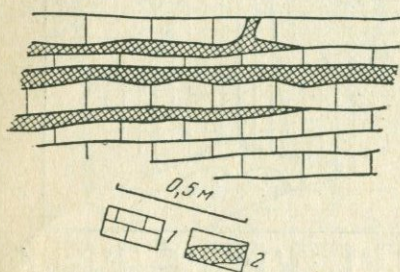


Рис. 9. Катагенетическое замещение девонского известняка (1) бокситоподобной (2) породой. Южный Урал

с разрывными нарушениями и теми же элементами текстуры пород, что и скопления руд второго фациального типа. Развитие катагенетических процессов следует ожидать на месторождениях сидеритовых руд, где железо находится в относительно подвижной форме. Здесь может идти активное переотложение сидерита, сопровождающееся образованием рудных тел различной величины и прихотливых очертаний.

На марганцевых месторождениях к числу катагенетических образований может быть отнесена часть окисных рудных концентраций бараунитового и гаусманитового состава. Оба эти минерала, по-видимому, могут образовываться не только в результате метаморфизма, но частично одновременно с катагенетическими изменениями первичноосадочных пород. На бокситовых месторождениях отдельные рудные накопления глинозема также могут образовываться в катагенетическую стадию. Катагенетическое замещение известняка глиноземом можно наблюдать на одном из месторождений, где карбонатное вещество известняков замещено после их литификации соединениями глинозема. Бокситоподобная порода, образующаяся при этом, дает выделения, как располагающиеся по напластованию известняка, так и пересекающие слоистость (рис. 9).

На месторождениях железных руд катагенетическая природа свойственна отдельным скоплениям магнетита, хлорита и сидерита. Известны случаи, когда данные минералы выполняют прожилки, секущие литифицированные вмещающие образования. Эти и другие соотношения доказывают катагенетическую природу минеральных выделений. На фосфоритовых месторождениях известны прожилки фосфорита, секущие сцементированные вмещающие породы, что подтверждает катагенетическое образование фосфорита. Это же относится и к концентрациям титановых минералов на бокси-

товых месторождениях, в некоторых нефтеносных песчаниках Тимана и т. п.

Отдельные минеральные образования, формирующиеся в значительных количествах в катагенетическую стадию, могут играть роль активных компонентов, захватывающих из пластовых вод и накапливающих соединения различных металлов. Активными компонентами зачастую являются пирит, курсит (фосфат кальция), магнетит, другие минералы железа, минералы марганца и глинозема, образующиеся в эту стадию. Такую же роль играет органическое вещество, не утратившее еще полностью способность сорбировать или каким-либо другим образом связывать металлы.

Если в пласты породы, богатой органическим веществом, просачиваются поверхностные или подземные\* воды, содержащие повышенные количества малых, редких и других элементов, последние могут поглощаться органикой. Активность поглощения ее, как правило, меньше, чем органического вещества, участвующего в процессе седиментации или диагенеза, но все же достигает заметных величин.

### Некоторые особенности катагенетических руд

Весьма характерными залежами катагенетических руд являются роллы. Малые, редкие и рассеянные элементы образуют в ходе катагенетического процесса также вкрапленность рудных минералов во вмещающих породах, прожилки и мелкие включения в них и самостоятельные рудные тела. Последние представляют собой чаще всего гнезда и линзы небольших размеров. Иногда это вытянутые залежи, расположенные в соответствии с текстурными особенностями вмещающих пород, или залежи неправильной формы, тяготеющие к мелким разрывным нарушениям.

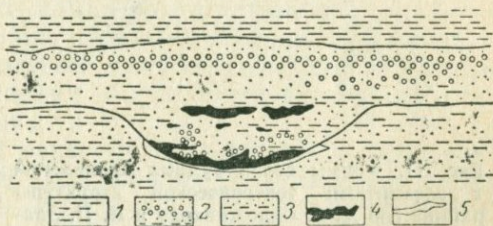


Рис. 10. Поперечный разрез рудосодержащего древнего русла (по Н. Райту)

1 — формация Шинлей; 2 — конгломераты и другие породы слоев Шайнарумп; 3 — формация Моенкопи; 4 — руда; 5 — осветленная зона

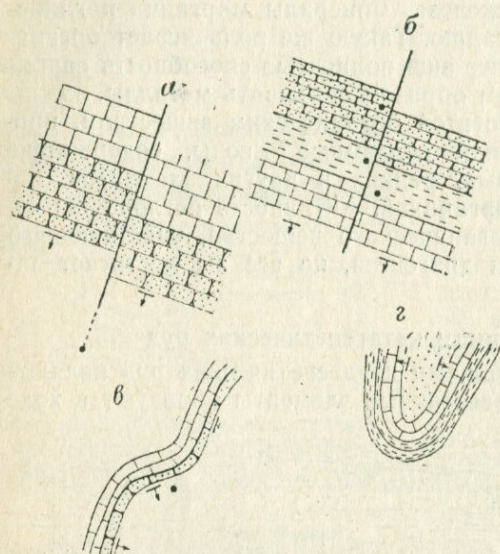
Форма рудных тел контролируется трещиноватостью, текстурными особенностями пород, в частности косой слоистостью. Большую роль играют древние русла (рис. 10) и различные каналы, захороненные в породах, места стыков в косослоистых сериях, поверхности внутрiformационных размывов и др. Чрезвычайно велико значение разрывных нарушений, особенно зон мелких размывов и повышенной трещиноватости пород. Границы рудных тел нередко секут слоистость и переходят из одного пласта в другой. Содержание металла в них обычно высокое, но отличающееся

\* Имеются в виду воды, не связанные с гипогенными источниками.

значительными колебаниями. Изменения содержания часто наблюдаются в пределах одного пласта и не обусловлены первичными причинами, например, отложением пород в различных фациальных зонах.

Рудные залежи зачастую обнаруживают отчетливую связь с элементами тектонической структуры региона. Она свойственна медистым песчаникам (рис. 11) и некоторым другим рудам, весьма вероятно для руд малых и редких элементов.

На месторождениях макроэлементов катагенетические концентрации проявляются там, где создаются условия, способствующие проникновению подземных вод из одного пласта в другой, и располагаются близ зон разрывных нарушений и трещиноватости. При этом по направлению к упомянутым зонам мощность рудного тела начинает возрастать и оно может переходить из одного пласта в соседний. В ряде случаев первично безрудные породы, подстилающие или кроющие рудный пласт, обогащаются полезным компонентом и переходят в оруденелую породу или руду (Караджальское железно-марганцевое месторождение).



**Рис. 11. Формы связи рудных проявлений с элементами тектонической структуры района (по Д. Г. Сапожникову и И. П. Златогурской). Месторождения медистых песчаников (темные кружки):**

*а* — предположительно связанные с областью затухания разрывной дислокации; *б* — связанные с разрывной дислокацией, проходящей в средней части рудного поля; *в* — расположенные в зоне вторичной складчатости, осложняющей крыло структуры первого порядка; *г* — расположенные в области периклинального окончания антиклинальной складки

Замещения полностью литифицированных известняков соединениями глинозема обычны на бокситовых месторождениях (см. рис. 9), однако крупные катагенетические залежи бокситов не встречаются.

Катагенетические залежи всех разновидностей отличны от седиментационных залежей, и по форме во многом сходны с рудами гидротермального генезиса и метаморфогенными образованиями. Сходство с последними усугубляется в случае приуроченности рудных тел к разрывным нарушениям и зонам трещиноватости. В связи с этим необходимо особенно внимательное изучение природных объектов прежде, чем отнести их к описываемому классу.

## РУДЫ, ВОЗНИКШИЕ ПРИ ПЕРЕОТЛОЖЕНИИ МЕТАЛЛА ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Многие осадочные руды испытывают более или менее значительные процессы разрушения и изменения, протекающие в результате воздействия подземных вод. Часто эти процессы значительно изменяют первичноосадочные руды несмотря на то, что они образуются в областях седиментации, для которых характерны термодинамические и физико-химические условия, довольно близкие к условиям, господствующим в осадочных породах в верхней части земной коры. Относительно небольшие изменения окислительно-восстановительных условий, pH, содержания отдельных ионов и некоторых других особенностей подземных вод ведут к неустойчивости осадочных рудных концентраций, причем такие важные параметры, как давление и температура, остаются неизменными.

В ходе выветривания на осадочных месторождениях часто возникают новые рудные концентрации, имеющие большое значение для практики, например, при формировании коры выветривания и зоны окисления. Однако мы рассматриваем не руды зоны окисления магматогенных месторождений, а процессы обогащения и формирования рудных залежей, образующихся только при выветривании бедных осадочных или метаморфизованных осадочных руд или осадочных пород, лишь несколько обогащенных металлом.

Примеры накопления полезных ископаемых за счет переотложения металла подземными водами в зоне выветривания осадочных месторождений многочисленны.

1. Рудные концентрации зачастую связываются с замещением рудными элементами в зоне выветривания обуглившегося органического вещества растительных остатков. Например, на карнотитовых месторождениях плато Колорадо (США) наблюдалось выполнение стволов деревьев и других растительных остатков урановыми минералами. Этот процесс обусловлен переотложением соединений урана при выветривании, настолько интенсивным, что происходит окисление углистого вещества, полное его разрушение и удаление с выполнением образовавшегося пространства соединениями рудного элемента. В результате образуются залежи богатой руды, развивающейся по захороненным остаткам растений.

2. Известен и принципиально другой случай образования рудных концентраций, в которых залежь богатых руд располагается на границе между бедной рудой и лежащей выше пустой породой. Рудная залежь представлена тонким пластообразным телом, местами переходящим в линзы. Пласт имеет многочисленные изгибы и в разрезах приобретает характер ленточной залежи (рис. 12). Богатая руда, слагающая ленточную залежь, окрашена в черный цвет и располагается непосредственно на бедных рудах. Бедные руды или породы, обогащенные ураном, обычно имеют зеленовато-серую окраску, содержат отдельные выделения пирита и других

сульфидов, примазки черного сажистого вещества. Все эти признаки указывают на то, что данные образования не подвергались окислению и до настоящего времени в них сохранились восстановительные условия. Пустая же порода, располагающаяся выше рудной ленты, имеет серый с буроватым и красноватым оттенком цвет. В ней можно встретить отдельные мелкие выделения гидроокислов железа; наблюдающиеся остатки растений буроватого цвета заметно ожелезнены. В пустой породе не встречены пирит,

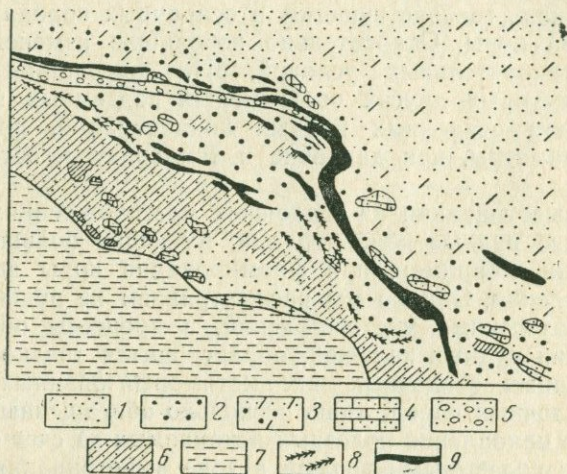


Рис. 12. Лентообразная рудная залежь в разрезе (по Д. Г. Сапожникову и М. А. Виселкиной, 1962)

1 — серый мелкозернистый песчаник; 2 — серый среднезернистый песчаник; 3 — те же породы из зоны окисления и выщелачивания (песчаник вишнево-красный); 4 — плотно сцементированный песчаник; 5 — гравелит; 6 — алевролит; 7 — глина; 8 — растительные остатки; 9 — богатая руда. Породы 5, 6 и 7 характеризуются невысоким содержанием урана и могут рассматриваться как бедная руда

другие сульфидные минералы и черные углистые скопления. Вся совокупность данных говорит о том, что породы, расположенные выше рудной ленты, подверглись окислению, сопровождавшемуся выносом урана.

Важно подчеркнуть, что, не считая изменений, вызванных окислением, основные литологические особенности пород, расположенных над рудной залежью, входящих в ее состав и лежащих ниже нее, совершенно одинаковы. Всюду одинаковы механический состав пород, текстура, а также состав минералов зерен обломочного материала, т. е. до окисления это был единый пласт сравнительно однородной породы — бедной руды.

Сама рудная залежь располагается весьма прихотливо: она сечет слоистость, то поднимается к кровле пласта, то опускается к его подошве. Мощность ее непостоянна, но изменяется в узких

пределах. Можно предположить, что когда-то весь пласт представлял собой бедную руду или породу, слабо обогащенную ураном, ванадием и, возможно, другими элементами; во всех частях пласта существовали восстановительные условия. В дальнейшем верхняя часть пласта оказалась в зоне выветривания. В результате произошло разрушение рудных минералов, неустойчивых в условиях выветривания. При этом в пластовых водах могли образовываться растворимые соединения шестивалентного урана, которые, просачиваясь вниз, вступали в переходную зону, где окислительная среда сменялась восстановительными условиями, свойственными зоне неокисленных, невыветрелых первичных руд. На границе разных сред между первичной, не затронутой изменениями рудой и окисленной частью ее происходило восстановление металла. Образовались более труднорастворимые соединения четырехвалентного урана. Накопление их привело к резкому обогащению этой части пласта. В результате возникла рудная залежь с высоким содержанием урана, а также ванадия и некоторых других элементов. Образование внутрипластовых залежей богатых руд во многом сходно с условиями формирования роллов. Главным отличием являются различные источники металла.

3. В сходной обстановке возникают роллы урановых руд, несколько отличающиеся по условиям образования от подобных описанных тел и сформированные в основном за счет металла, первично обогащавшего осадочные породы, содержащие органическое вещество (Германов, 1960). А. И. Германов показал, что соединения урана, рассеянные в породе, в больших масштабах могут окисляться под влиянием подземных вод, обладающих высоким окислительно-восстановительным потенциалом и проникающих на большую глубину. В верхней части пластов пород, первично содержащих органику и в незначительной степени обогащенных ураном, поверхностные (или пластовые) воды окисляют и постепенно разрушают находящееся в них органическое вещество. При этом устанавливаются условия окислительной среды и происходит разрушение сульфидов и карбонатов железа и закисных соединений различных элементов, таких как марганец, ванадий, уран, селен и др. Уран, в частности, переходит в легкорастворимую шестивалентную форму. Соединения этих элементов растворяются в подземных водах. Просачиваясь ниже по пласту, последние попадают в ту его часть, где осадочные породы еще содержат значительное количество органического вещества и где существуют восстановительные условия. В области перехода от окислительной среды к восстановительной выпадают соединения урана и некоторых других элементов примерно по той же схеме, что и описанная (см. стр. 79). При этом могут возникать залежи богатых урановых руд, имеющие характер роллов.

Формирование роллов урановых руд в толще нефтеносных известняков происходит, согласно В. Н. Холодову, И. А. Кондратьевой и Г. А. Комаровой, несколько иным путем. Эти авторы

устанавливают эпигенетическую зональность, отличную от образующейся в результате пластового окисления по описанной схеме. Однако Е. М. Шмариович в последней работе (1971 г.) ставит под сомнение схему эпигенетической зональности, разработанную упомянутыми авторами, равно как и их генетические построения. При этом ролловый характер самих рудных тел Е. М. Шмариовичем не оспаривается.

На осадочных месторождениях при выветривании иногда подобным образом возникают концентрации железных руд. И. К. Илларионов (1957) наблюдал гипергенный сидерит, образующий гнезда и выдержанные пластообразные залежи в зоне выветривания месторождений горючих сланцев и фосфоритов Среднего Поволжья.

Механическое разрушение осадочных рудных месторождений на земной поверхности иногда также приводит к образованию новых рудных залежей. Например, морские россыпные месторождения наиболее богаты в том случае, если произошли за счет перемывания россыпей аллювиального или иного генетического типа.

Весьма вероятно, что процессы размыва и переотложения имеют место при образовании залежей оолитовых гидрогит-лептохлоритовых руд, приуроченных к древним речным долинам на Лисаковском, Приаральских и некоторых других месторождениях.

На бокситовых месторождениях рудные пласты зачастую имеют обломочную текстуру. Образовались они за счет разрушения и переотложения осадочных бокситовых пластов, а также латеритных бокситов, сформированных ранее и подвергавшихся размыву.

## ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ

Развитие вулканологии и специальные океанологические исследования позволили установить вулканогенно-осадочный процесс, протекающий местами в настоящее время на морском дне, на суше в пределах вулканических полей, в вулканических озерах и т. п. Наряду с этим все чаще открываются месторождения железа, марганца, свинца, цинка и других руд, несущих несомненные черты связи с вулканическими процессами (Дзоцендзе, 1969).

Описанию этих специфических образований посвящены многочисленные работы различных авторов, содержащие описания месторождений и различных сторон вулканогенно-осадочного процесса.

В образовании рудных месторождений описываемого типа могут принимать участие различные продукты вулканической деятельности: 1) газообразные выделения (вулканические эксгаляции); 2) горячие воды магматогенного — ювенильного или ювенильно-вадозового происхождения (гидротермальные воды); 3) пирокластический материал, особенно пепел, на частицах которого сорбированы газообразные продукты, а также мелкие лапилли, возможно, несущие отдельные зерна сублиматов.

Исходя из разнообразия источников рудообразования, можно подразделить вулканогенно-осадочные рудные месторождения на эксгалационно-осадочные, гидротермально-осадочные и, возможно, некоторые другие. Такое разделение имеет в значительной мере отвлеченный характер, так как в настоящее время еще нет надлежащих критериев для уверенного выделения вулканогенно-осадочных месторождений, связанных с тем или иным источником металла.

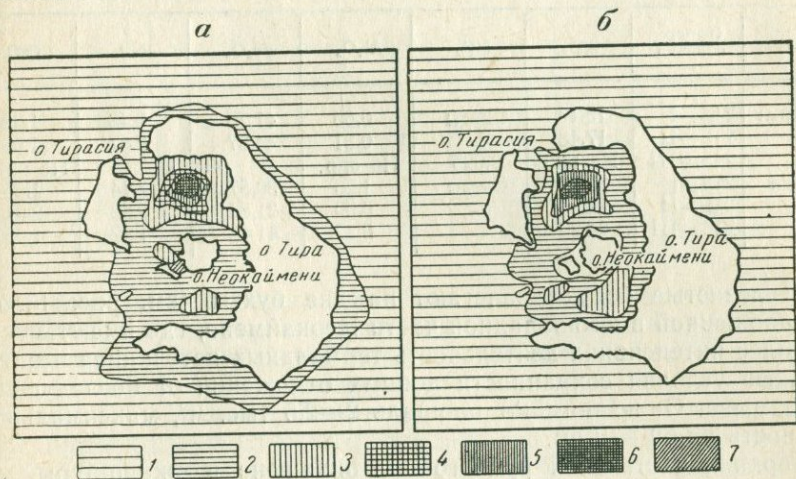


Рис. 13. Распределение содержаний (в %) железа (а) и марганца (б) в поверхностном слое осадков Санторинской вулканической зоны (в пересчете на бескарбонатное вещество)

для Fe: 1—< 4; 2—4—5; 3—5—6; 4—6—7; 5—7—8; 6 > 8 (до 17); 7—> 25 (руда);  
 для Mn: 1—0,05—0,15; 2—0,15—0,20; 3—0,2—0,4; 5—0,4—0,6; 6—>0,6 (до 0,69).

Наиболее важную роль при образовании руд описываемого типа играют гидротермы и эксгалации. Можно полагать, что руды формируются при поступлении минерального вещества одновременно из обоих этих источников, причем в ряде случаев невозможно учесть долю участия каждого из них. Современные фации вулканогенно-осадочных рудных образований на дне моря лучше всего изучены на примере кальдеры вулкана Санторин, расположенного в Эгейском море (Г. Ю. Бутузова). Последние проявления вулканизма на о. Тира (Санторин) зафиксированы в 1939—1941 и 1950—1951 гг. Извержения отличались умеренной интенсивностью, причем центры их находились под водой в затопленной части кальдеры. В настоящее время на земной поверхности о. Неокаймени (рис. 13) располагаются многочисленные фумарольные поля, горячие источники и отдельные выходы вулканических газов. Подобные проявления вулканизма имеют место и на дне моря вокруг побережья о. Неокаймени. Важно подчеркнуть, что о. Тира (Санторин) переживает в настоящее время поствулканическую стадию развития, что сказывается на характере рудообразования. Верхний

слой морской воды близ выходов горячих источников у о. Тира (Санторин) заметно обогащен железом (0,5—2,0 мг/л), марганцем (1—3,5 мг/л) и кремнием (10—14 мг/л). Характерно невысокое (0,006 мг/л) содержание алюминия. рН воды составляет обычно 6—7 и постепенно возрастает до 8,4 в открытой части Эгейского моря.

Химический состав рудных илов (в %) из разных

Ил	Номер образца	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO
Красный	215—I	13,13	Следы	0,60	47,73	0,43	1,28
	215—II	17,48	—	0,31	44,87	0,57	1,53
	215—III	Не опр.	0,025	Не опр.	49,26		Не опр.
Черный	216—I	22,77	Следы	1,26	30,57	4,14	1,65
	216—II	24,59	—	0,99	21,82	6,50	2,34
	216—III	24,29	—	0,37	41,48	1,22	1,05

Железистые осадки залегают на дне бухты (см. рис. 13, а), расположенной в юго-западной части Неокаймни, где имеют место наиболее интенсивная деятельность термальных источников и оптимальные условия сохранности донных отложений от последующего размыва. Они занимают площадь 2—2,5 тыс. м<sup>2</sup>, максимальная мощность их 60—70 см.

Верхняя часть слоя рудного ила окрашена в ржаво-бурый до оранжево-красного цвет; ниже располагается 20—25 см черного ила. Обе разновидности ила содержат заметное количество пеплового материала. Химический анализ рудных илов (табл. 17) свидетельствует о высоком содержании в них железа при относительно малом количестве других рудных компонентов. Основным рудным минералом красных илов являются аморфные гидроокислы железа, в качестве примеси возможно наличие карбонатов двухвалентного железа и сульфидов этого элемента.

Состав черного ила значительно сложнее. Железо, по мнению Г. Ю. Бутузовой, находится в нем в двухвалентной форме и значительное содержание трехвалентного железа явилось результатом окисления при отборе образцов и в ходе анализа. Это предположение подтверждается наблюдениями греческих ученых над подводными гидротермами. По их данным, вода, выходящая непосредственно из источников, окрашена в темно-зеленый цвет, который через короткое время сменяется красновато-коричневым. Г. Ю. Бутузова полагает, что в состав черного ила входят: гидроокислы двухвалентного железа (30%), карбонаты (7%), вивианит (4%), гидротроилит (5,25%), пирит (0,25%) и сульфат двухвалентного железа (3,25%).

Имеются веские основания полагать, что в заливе о. Неокаймни отлагается современный железорудный осадок гидротермально-осадочного типа, формирующийся на малой глубине на дне моря

в непосредственной близости от выходов горячих источников и фумарольных полей. Железородные концентрации находятся в тесной ассоциации с андезитовидными дацитами и их пирокластами. Это своеобразная фация вулканогенно-осадочных руд, формирующихся по существу рядом с источниками металла. Можно полагать, что малая примесь бора, отсутствие фтора, ничтожное коли-

Таблица 17

частей бухты А (по Г. Ю. Бугузовой)

MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	C <sub>орг</sub>
1,05	0,01	0,25	6,75	0,60	13,27	5,58	1,20	1,30
0,90	0,06	0,14	5,79	0,70	11,14	8,44	1,16	1,22
He опр.	0,012	0,25	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.
1,40	0,02	1,64	6,75	0,68	9,72	6,91	1,36	3,50
1,40	0,06	0,73	8,76	1,03	6,75	9,36	3,10	3,45
0,48	0,06	1,37	0,89	0,22	9,13	13,18	He опр.	2,52

чество малых и редких элементов указывают на незначительное участие вулканических эксгаляций в образовании руд о. Тира (Санторин). Отсутствие в них марганца следует связать с высоким содержанием этого элемента (1—3,5 мг/л) в морской воде над выходами гидротерм. Вероятно, его соединения остаются растворенными в воде залива, выносятся за его пределы и рассеиваются, давая в благоприятной обстановке небольшое обогащение марганцем осадочных донных отложений в других частях кальдеры.

Другой район современного рудообразования установлен в срединном грабене Красного моря. Здесь, по данным Е. Т. Дагенса и Д. А. Росса (Degens, Ross, 1969), на широте г. Мекка на глубинах около 2000 м располагаются три небольшие впадины (рис. 14), в которых установлены аномальные особенности морской воды. Наибольшая впадина Атлантис имеет площадь около 30 квадратных миль. Нижние, наиболее глубоководные части впадин заполнены мощным (до 200 м) слоем воды (рис. 15), пропругой до 44—56° С. Вода не содержит свободного кислорода и в ней, по видимому, господствуют восстановительные условия; соленость составляет 270—400‰. рН воды не превышает 4. Следует указать для сравнения, что вода Красного моря обычно имеет рН 8,5, содержит кислород, соленость ее около 40‰ и температура 20° С.

Глубинная вода впадин отличается весьма высоким содержанием железа, марганца, цинка, свинца, меди, серебра и золота, причем концентрация некоторых из этих элементов более чем в 50 000 раз превышает обычную. Донные отложения представлены слоистыми осадками, окрашенными в различные цвета. Они чрезвычайно богаты перечисленными металлами, содержание которых достигает промышленных кондиций. Осадки, обогащенные металлами, вскрыты на глубину 10 м. Мощность их по результатам сейсмических исследований достигает 100 м.

Недостаточное количество данных не позволяет определенно решить вопрос о характере процессов, обусловивших высокое содержание в морской воде различных элементов, и об источнике металлов, установленных в воде и в составе донных отложений. Имеются веские основания связать их с подводной вулканической деятельностью. При этом, помимо гидротерм в морскую воду, по-видимому, поступали и эксгаляции, на что указывает весьма обширный набор элементов, содержащихся как в морской воде, так и в осадках на дне моря.

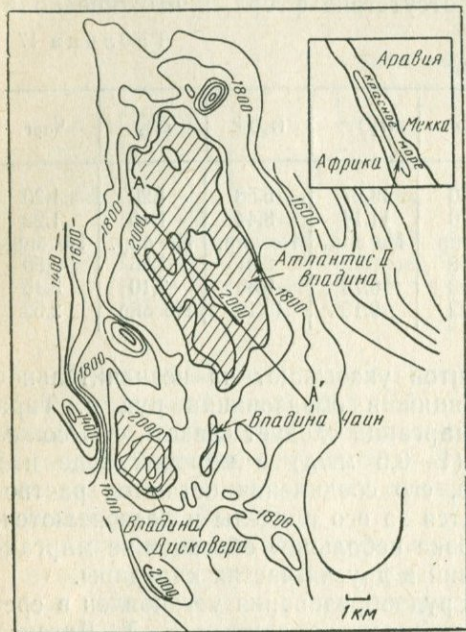


Рис. 14. Местоположение глубоководных впадин на дне Красного моря (по Е. Т. Дагенсу)

Рис. 15. Поперечный профиль через впадину Атлантис II (по Е. Т. Дагенсу)

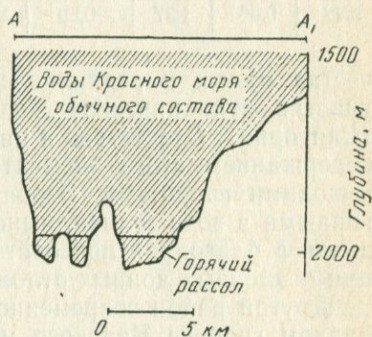


Рис. 15. Поперечный профиль через впадину Атлантис II (по Е. Т. Дагенсу)

Можно полагать, что во впадинах глубоководной части Красного моря имеет место особая фация вулканогенно-осадочных рудных образований, отличная от соответствующей фации о. Неокаймени.

Проявления современного вулканогенно-осадочного рудообразования устанавливаются и в ряде других районов, где налицо активная вулканическая деятельность. Можно сослаться на кратерное озеро Окама на вулкане Цао в Японии, на дне которого накапливаются соединения железа.

В отличие от современных распознавание древних вулканогенно-осадочных руд в ряде случаев затруднено. Как правило, указанием на вулканогенно-осадочное происхождение является приуроченность руды к толще пород, включающих помимо типичных осадочных отложений тела эффузивных пород, прослойки туфов, пласты других пирокластических образований. Рудные тела имеют форму слоев, согласно пластующихся с известняками, алевролитами или другими типичными осадочными образованиями. Рудные

залежи подобного рода весьма многочисленны, они описаны в литературе и нами рассматриваться не будут.

Значительно сложнее обстоит дело в том случае, если залежи руды располагаются в комплексе осадочных пород, не содержащих явных признаков синхронной вулканической деятельности. Зачастую отсутствуют критерии, необходимые для установления условий образования рудных тел. Так, своеобразный комплекс пород, относимых к верхней части фаменского яруса, распространен в Атаусуйском районе (Центральный Казахстан), где с ним связаны залежи железных, марганцевых и свинцово-цинковых руд на месторождениях Джайрем, Учкатан, Караджал и др. Рудные тела приурочены к характерной породе — специфическому слоистому и волнисто-слоистому известняку красной, кирпично-красной, сиреневой и розовой окраски. Они сложены тонкими (3—5 мм) прослоями темно-красной карбонатно-глинистой породы с несколько более мощными, но не превышающими обычно 1 см прослоями розового известняка. Порода в целом отличается высоким содержанием углекислого кальция (78 и даже 87%). Содержание углекислого магния не превышает 1,5%. Обращает на себя внимание постоянное повышенное содержание углекислого марганца (от 0,6 до 2,3%). Породы отлагались в фации открытого моря на значительном расстоянии от подводных вулканических аппаратов и содержат лишь отдельные горизонты яшмы и редкие прослой туфов. Они широко распространены, выходя по бортам Караджальской мульды на протяжении до 100 км и, возможно, выстилают всю ее. В крыльях этой структуры в красноцветных известняках локализованы многочисленные месторождения железных, марганцевых и свинцово-цинковых руд. Залежи последних имеют пластовую форму, им присуща внутренняя слоистость и в ряде случаев они совершенно сходны с осадочными образованиями (Сапожников, 1963).

## ГЛАВА IV

### НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Осадочные породы и полезные ископаемые, связанные с ними, образуются в пределах различных структурно-тектонических элементов земной коры, причем процесс седиментации характеризуется специфическими особенностями в зависимости от того, к каким элементам он приурочен. В геосинклиналях и на платформах в одних и тех же климатических условиях процесс осадочного рудообразования различен. Известен ряд полезных ископаемых, характерных для платформ и отсутствующих в геосинклиналях. Мы не будем перечислять их, отметим только, что к ним относятся, например, месторождения минеральных солей, как и соленосная

формация в целом. Наряду с этим месторождения какого-либо одного полезного ископаемого во многом отличаются, если они сформировались в пределах платформы, с одной стороны, или геосинклинальных областей — с другой. Так, давно выделяются платформенные месторождения фосфоритов, отличающиеся от геосинклинальных условиями залегания, незначительной мощностью фосфатной серии, малой мощностью продуктивного пласта, характером вмещающих образований и другими особенностями. Подобным образом различаются геосинклинальные и платформенные месторождения бокситов и некоторых других полезных ископаемых.

Обстановка седиментации и образования осадочных рудных месторождений в платформенных областях характеризуется специфическими особенностями, главной из которых являются стабильные тектонические условия, свойственные платформам.

### ЗОНАЛЬНОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПЛАТФОРМАХ

Среди пород верхнего структурного этажа платформы, если они отложились в течение рудной эпохи, обычно выделяются несколько различных совокупностей минеральных образований. Одна из них включает формации морских осадочных отложений, вторая — континентальные осадочные формации и, наконец, третья объединяет породы коры выветривания и разнообразные остаточные образования, которые вместе могут быть выделены в крупную формацию коры выветривания. Однако имеется еще один тип эфемерных образований, которые накапливаются на территории пониженных участков, заключенных в пределах возвышенных областей. Они отлагаются здесь, существуют некоторое время и затем почти полностью уничтожаются при постепенном разрушении горной страны.

Отложения всех этих совокупностей обычно тесно связаны друг с другом и образуют гамму постепенных переходов. Каждая из них накапливается в условиях определенной зоны и с каждой из них связан свой круг месторождений полезных ископаемых. В наиболее общем случае на платформе в эпоху рудообразования можно выделить четыре зоны, из которых одна является безрудной, а три другие можно рассматривать как зоны седиментации и рудообразования. Каждая из них отличается специфическими особенностями физико-географической обстановки и характеризуется особыми условиями развития экзогенного рудного процесса.

*Зона преобладающего размыва и выноса минеральных веществ* включает возвышенные участки на платформе (рис. 16). Она названа так потому, что из ее пределов поступают в основном рудные компоненты, и значение ее в формировании месторождений полезных ископаемых очень велико. Поднятые участки платформы в ряде случаев достигают значительной высоты и подвергаются постоянному размыву.

Широко известны примеры складчатых областей, примыкающих к платформе и относимых к описываемой зоне. Из числа их можно назвать гористую часть Урала, которая в течение длительного времени представляет область размыва и выноса минеральных веществ. Здесь, за редкими исключениями, не сохранились древние седиментационные образования верхнего структурного этажа, кора выветривания также подвергалась интенсивному разрушению и выносу.

Некоторые платформенные области с каледонским или герцинским складчатым основанием захвачены молодыми тектоническими движениями и претерпевают тектоническую активизацию. Если в подобных горных областях ранее образованные месторождения уничтожены размывом, то предполагаемое местоположение их при составлении прогнозных карт также должно быть отнесено к описываемой зоне.

Относительно приподнятые области с расчлененным рельефом мало благоприятны для развития процессов химического выветривания и седиментации. Здесь происходит главным образом механическое разрушение и вынос обломочного материала. Помимо этого, соединения геохимически подвижных элементов (хлора, серы, щелочных и некоторых других металлов) успевают перейти в раствор, выносятся преимущественно поверхностными водами и поступают в пределы соседних зон, где могут накапливаться.

Месторождения, возникающие в таких областях, характеризуются специфическим характером и незначительными запасами. Они сохраняются в течение недолгого времени и разрушаются при постепенной нивелировке горной страны. Примеры месторождений, связанных с областями этой зоны, немногочисленны. Это россыпные месторождения золота и некоторых других металлов, сформированные в горных районах, а также современные горные торфяники, обогащенные редкими и рассеянными элементами.

Физико-географические условия этой как бы нулевой зоны постепенно меняются по мере того, как происходит размыв и сглаживание приподнятых участков. При этом меняется характер седиментации и процессов рудообразования. Граница между ней и следующей зоной, во-первых, непостоянна, а, во-вторых, со временем перемещается в сторону нулевой зоны.

*Первая зона (частичного выноса рудных элементов и формирования остаточных месторождений).* Охватывает невысоко приподнятые участки платформ, на которых в условиях стабильного тектонического режима и при благоприятных климатических условиях идет активное химическое разложение материнских пород и возникает формация коры выветривания. Эта зона обычно включает большую часть территории щитов, крупные антеклизы и другие положительные элементы платформенных областей. В эпохи общих поднятий огромные территории в пределах плит, обычно примыкающие к щитам, могут стать ареной развития интенсивного выветривания, причем границы зоны резко расширяются. Она может

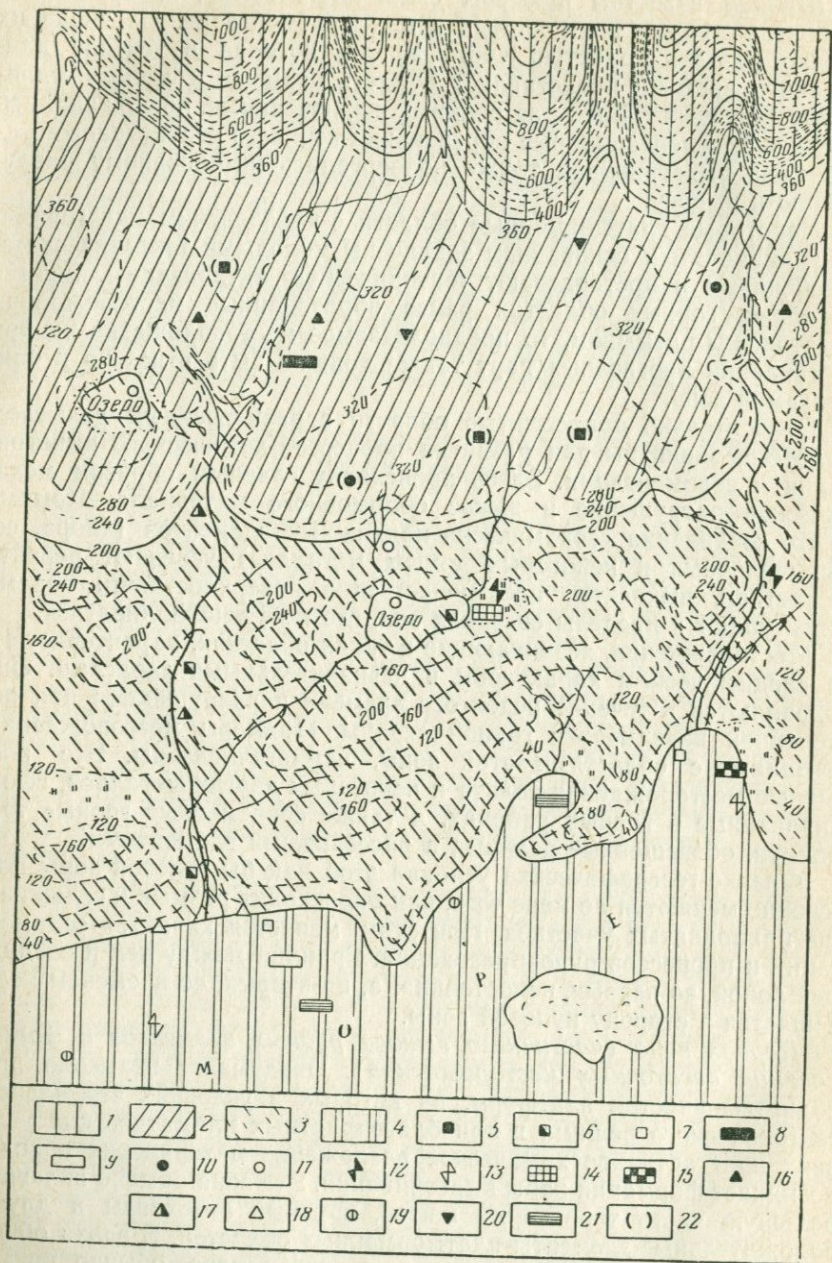


Рис. 16. Схема расположения зон седиментации

Зоны: 1 — нулевая (зона преобладающего размыва и выноса минеральных веществ); 2 — тинентальные; 7 — осадочные морские. Месторождения марганца: 8 — остаточные; 9 — осадочные. Месторождения урановых руд: 12 — осадочные континентальные; 13 — осадочные морские; 17 — аллювиальные; 18 — морские. Месторождения: 19 — фосфоритов; 20 — силикатного

захватить все относительно приподнятые территории, тогда как пониженные участки между ними будут областями седиментации.

На материнских породах ультраосновного состава могут развиваться месторождения остаточных железных руд и марганца. Рудные минералы зачастую содержат примесь никеля, кобальта и других элементов. Широко распространены силикатные руды никеля. В элювиальных россыпях встречаются платиноиды, магнетит, титановые и другие минералы. Железорудные месторождения этого типа известны в Гвинее (Конакри), на Урале (Елизаветинское), силикатно-никелевые — на о. Новая Каледония, на Кубе, на Урале, в Западном Казахстане и в других районах.

На материнских породах щелочного состава в ряде случаев образуется кора выветривания, отличающаяся высоким содержанием глинозема. Она включает остаточные латеритные бокситы (Гвинея, Индия, США). С ней связаны цирконовые россыпи, а также рассеянные месторождения некоторых других редких и рассеянных элементов. В коре выветривания кислых магматических пород образуются элювиальные россыпи редких элементов, а также месторождения нерудных полезных ископаемых.

Многочисленная группа карстовых месторождений, распространенных в области коры выветривания, включает рудные залежи бокситов, фосфоритов, силикатного никеля и некоторых других элементов.

Среди месторождений коры выветривания особое место занимают богатые железные руды, развивающиеся на железистых кварцитах джеспилитовой формации, а также латеритные бокситы на кварц-хлорит-серицитовых сланцах нижнего протерозоя на КМА.

Основными активными компонентами этой зоны являются окисные и гидроокисные соединения алюминия, железа и марганца, а также минералы глин. Органическое вещество не является активным компонентом.

Таким образом, с точки зрения прогноза важнейшая задача геологов состоит в том, чтобы наметить границы первой зоны, выявить площади распространения кор выветривания (учитывая, что на одной территории могут сохраниться разновозрастные коры) и дать правильную оценку возможности обнаружения руд того или иного полезного ископаемого, связанного с ними. Должны быть учтены и критически оценены все особенности геологии района.

Многие геохимически подвижные элементы, а также устойчивые минералы выносятся из коры выветривания, первые — при ее фор-

---

#### и рудообразования в платформенных условиях

первая; 3 — вторая; 4 — третья. Месторождения железа: 5 — остаточные; 6 — осадочные конгломератные морские. Месторождения бокситов: 10 — латеритные; 11 — осадочные континентальные. Месторождения углей: 14 — лимнические; 15 — параличские. Россыпи: 16 — элювиальные никеля; 21 — горячих сланцев; 22 — остаточные латеритного типа.

мировании, вторые — преимущественно при более позднем размыве. Они поступают за пределы описываемой зоны и могут частью рассеиваться, частью давать промышленные концентрации, генетически связанные с корой выветривания, но расположенные за пределами области распространения ее на территории других зон рудообразования.

Первая зона является не только местом формирования остаточных месторождений, но частью относится также к питающей провинции, поставляющей рудный материал при образовании осадочных месторождений. В некоторых случаях обычно в результате особенностей тектонического режима создаются такие условия, когда при поднятиях земной коры первая зона резко сокращается в размерах. В ее пределах уже не могут образовываться остаточные месторождения и кора выветривания, и она, по сути дела, сливается с зоной преобладающего размыва и выноса минеральных веществ.

*Вторая зона (формирования осадочных континентальных месторождений).* Включает обширные площади платформы, ограниченные, с одной стороны, областью распространения коры выветривания, а с другой — береговой линией эпиконтинентальных морских водоемов, покрывающих платформы или располагающихся по их границе. Она захватывает значительные территории платформенных плит и заходит в пределы крыльев положительных структур. Отложения, относимые ко второй зоне, иногда накапливаются также в пониженных участках на щитах. В эпохи крупных поднятий зона расширяется за счет прилежащих частей морских водоемов и захватывает все относительно пониженные области платформы.

В пределах второй зоны происходит перенос минеральных веществ и отложение различных континентальных осадков (речных, озерных, болотных, делювиальных и др.). В условиях засушливого климата накапливаются также пролювиальные и некоторые другие типы отложений. Осадочные рудные месторождения, образующиеся здесь, относятся к различным генетическим типам. Прежде всего происходит переотложение рудных концентраций малоподвижных элементов, связанных с остаточными месторождениями коры выветривания. В эту группу входят месторождения переотложенных бокситов, отличающихся ясно выраженной обломочной текстурой. Залежи их приурочены к пониженным областям палеорельефа — к долинам оврагов и рек, к озерным котловинам и карстовым воронкам. Переотложенные бокситы широко распространены в районе классического латеритного Арканзасского месторождения, где к ним относятся коллювиальный, слоистый и конгломератовый типы накоплений (см. рис. 1). В СССР они известны на древних Русской и Сибирской платформах и на эпигерцинской Урало-Сибирской платформе.

К этой же группе месторождений относятся различные переотложенные россыли, приуроченные чаще всего к речным долинам

и образовавшиеся за счет разрушения коренных пород магматогенных месторождений и перемыва элювиальных россыпей коры выветривания. Подобные месторождения весьма многочисленны среди палеогеновых образований, развитых вдоль восточного склона Урала, по окраинам Казахской складчатой страны, Украинского щита и в других местах.

Огромную роль играют рудные концентрации другого типа, к которым относятся месторождения, образованные за счет выпадения рудных элементов из растворов, вынесенных из коры выветривания первой зоны и выщелоченных при разрушении материнских пород зоны размыва. Месторождения этого типа образуются преимущественно в озерах, реже в болотах, а иногда в пойме или руслах рек. К их числу относятся многочисленные месторождения озерных железных руд, известные среди юрских отложений Русской платформы (Липецкие железные руды) и Южного Урала (часть железорудных месторождений Орско-Халиловской группы), Малкинские железные руды на Северном Кавказе, болотные руды, примером которых являются залежи сидеритов в некоторых болотах Белорусской ССР на Русской платформе. Месторождения железо-марганцевых руд современных озерных водоемов широко развиты и уже упоминались (оз. Пуннус-Ярви). Эта зона включает и железные руды аллювиального происхождения, развитые на Лисаковском и других месторождениях.

Особняком стоят месторождения редких и некоторых других элементов; они обычно связываются с активными компонентами, входящими в состав различных отложений.

В озерной и болотной фациях формируются торфяники, преобразующиеся в залежи каменных углей, и сланцы. Как те, так и другие могут быть обогащены ураном, молибденом и другими элементами. Среди аллювиальных образований отлагаются песчаные породы, с которыми связываются концентрации меди, урана и редких металлов. Они с течением времени преобразуются в медистые песчаники и близкие им по условиям образования месторождения уран-ванадиевых руд. Подобные месторождения широко распространены на плато Колорадо (США).

Накопление некоторых элементов связано с озерными болотными железными рудами и бокситами описываемой зоны. Так, в современных озерных рудах оз. Пуннус-Ярви, богатых железом и марганцем, содержится до 8% окиси бария.

В условиях засушливого климата возникают озерные месторождения солей, с которыми связывается комплекс редких и рассеянных элементов. Формирование месторождений в пределах зоны происходит главным образом за счет отложения из текучих и стоячих поверхностных вод. Водная среда обычно богата кислородом, рН воды меняется в зависимости от климатических условий от слабокислого до слабощелочного. В ходе отложения осадков зачастую концентрируется органическое вещество. Оно обогащает осадочные породы или дает самостоятельные скопления в виде торфа

и сапропелита. В местах накопления органического вещества формирование рудных концентраций нередко происходит в восстановительных условиях. Вследствие этого иногда возникают залежи руд, образованных соединениями элементов низкой валентности. Так, железо дает в болотах Белоруссии накопления сидерита, запасы которого иногда настолько значительны, что он приобретает характер руды, используемой промышленностью.

На месторождениях второй зоны появляется новый активный компонент — органическое вещество. Оно начинает играть важную роль в концентрации малых и редких элементов. В то же время сохраняют свое значение такие активные компоненты, как окисные минералы железа, алюминия и марганца, а также минералы глини.

Многочисленные месторождения осадочных континентальных руд образуют в совокупности второй важнейший член ряда платформенных месторождений. Положение месторождений по отношению к области питания определяется геохимической подвижностью рудных элементов, особенностями рельефа местности, связанными с тектоническими и другими причинами, распределением водных бассейнов и водных артерий в пределах зоны и т. п. В общем случае наименее подвижные элементы дают накопления в непосредственной близости от областей сноса. Месторождения наиболее подвижных элементов могут располагаться в различных частях зоны, вплоть до ее периферии. Месторождения углей, обогащенных рудными компонентами, занимают положение вблизи области сноса.

Для осадочных месторождений алюминия, железа и марганца намечается следующая последовательность: бокситовые месторождения располагаются в непосредственном соседстве с областью питания. Железорудные локализуются в зависимости от типа, озерные и болотные — неподалеку от области распространения материнских пород, подвергшихся выветриванию (Малкинское месторождение на Северном Кавказе). Речные рудные залежи могут начинаться в непосредственной близости от области питания и протягиваться через значительную часть (Приаральские месторождения) или через всю зону. Далее располагаются железорудные накопления озерного, лиманного и дельтового типов. Месторождения марганца, если не считать небольших залежей в пресных озерах, выходят за пределы зоны и локализуются в морских водоемах. Медистые песчаники и месторождения урановых и ванадиевых руд можно встретить в разных частях зоны, но наиболее перспективные из них обычно размещаются вблизи области питания. Осадочные месторождения урана, обладающего большей геохимической подвижностью, чем медь, могут находиться дальше от области сноса.

Месторождения зоны располагаются на континентальных массивах в пределах плит и особенно часто на крыльях крупных синеклиз,

Поиски месторождений второй зоны можно вести среди континентальных платформенных формаций, преимущественно по соседству с областями распространения материнских пород благоприятного состава и коры выветривания, в пределах обширных седиментационных площадей платформ.

На Индийской платформе ко второй зоне седиментации можно отнести всю современную область Индо-Гангской низменности, расположенную к северу от Деканского плато, и примыкающие к ней части низменности. К ней относятся и пониженные участки Деканского плато, в пределах которых в настоящее время происходит континентальная седиментация. На территории СССР к этой зоне относятся железные и железо-марганцевые руды, образующиеся в озерах Карельской АССР — Пуннус-Ярви и др.

*Третья зона (формирования месторождений в морских бассейнах).* Включает прибрежную часть морских водоемов, где в области пляжа, в лагунах, заливах, на мелководье и в других частях шельфа происходит формирование подавляющей части морских рудных месторождений. Она располагается обычно в краевых частях платформ и только в эпохи максимального развития трансгрессий перекрывает большую часть плит. Шиты, а иногда и крупные антеклизы обычно находятся за ее пределами. В геосинклинальных областях она тяготеет к краевым частям водоемов, расположенных в пределах частных геосинклиналей и срединных массивов.

В третьей зоне развиты преимущественно процессы аккумуляции, лишь в прибрежной полосе, в области пляжа, наблюдается частичный размыв и переотложение минеральных веществ. Точно так же в мелководной части шельфа можно наблюдать донный размыв, приводящий местами к переотложению ранее накопленных осадков. В пределах остальной части шельфа донные осадки постоянно перекрываются более молодыми отложениями и окончательно захороняются при медленных опусканиях земной коры.

Здесь происходит формирование месторождений почти всех тех элементов, что и в предыдущей зоне. Однако генезис их существенно иной. Значение механически переотложенных месторождений резко сокращается, но увеличивается удельный вес месторождений, образовавшихся за счет отложения растворенных компонентов, поступающих в составе поверхностного стока. Появляются накопления, формирующиеся в результате выделения рудных элементов из морской воды. Месторождения фосфоритов, крупные накопления солей, а также паралические месторождения угля и залежи морских горючих сланцев с комплексом связанных с ними рудных элементов являются новыми и характерными для этой зоны.

Наиболее близко к берегу в области пляжа и на небольших глубинах образуются морские россыпные месторождения, которые возникают как за счет разрушения материнских пород в зоне приобья, так и при размыве и переотложении рыхлых пород, распространенных на берегу и включающих россыпи других генетических

типов (преимущественно аллювиальных). В прибрежной зоне, частью в области мангровых зарослей и болот, развитых на суше, частью в лагунах и в мелководных заливах происходит накопление растительного вещества, из которого образуется торф, преобразующийся в дальнейшем в бурый и каменный уголь.

Горючие ископаемые, связанные с побережьем и неглубокой частью морских водоемов, зачастую обогащены некоторыми редкими и радиоактивными (уран) элементами, вносимыми в водоем в составе поверхностного стока. Органическое вещество торфа поглощает их, и в результате в нем постепенно концентрируются заметные концентрации металла. В древние эпохи подобным же образом в прибрежной полосе накапливались угли, которые в ряде случаев отличаются повышенным содержанием редких элементов.

В прибрежной зоне, вероятно, может происходить накопление переотложенных бокситов, которые, как и многие бокситовые месторождения второй зоны, образуются за счет аккумуляции глинозема, полученного при размыве остаточных (латеритных) рудных залежей в коре выветривания.

Марганцевые рудные илы иногда начинают отлагаться прямо у берега. Для Никопольского марганцевого месторождения В. И. Грязнов (1954) убедительно показал, что отложение нижних горизонтов рудного пласта происходило на малых глубинах. В горных выработках наблюдается прилегание марганцевой руды непосредственно к скальным гранитным породам. В дальнейшем имела место трансгрессия, и верхние горизонты рудного пласта отлагались на глубинах около 20 м. Эта цифра свойственна области накопления окисных руд. Марганцевые руды в карбонатной фации отлагались, по-видимому, на несколько больших глубинах.

С прибрежной зоной эпиконтинентальных водоемов связываются и Мангышлакские марганцевые месторождения. Несколько дальше от древнего берега располагаются Полуночное и другие месторождения, протягивающиеся полосой вдоль восточного склона Урала.

Железородные отложения часто также начинают формироваться вблизи берега. Здесь происходит отложение обломочных руд, содержащих частицы терригенного материала: гравия, гальки или щебня, включенных в рудную массу. Такие образования могут накапливаться только в зоне мелководья. Оолитовые железные руды гидрогётит-лептохлорит-сидеритового состава также отлагаются на малых глубинах. Об этом свидетельствует прежде всего большое количество следов размыва, которые обычно наблюдаются в пластах морских железных руд этого класса. Железные руды, начинаясь у берега, прослеживаются иногда на десятки и даже сотни километров в глубь бассейна.

Месторождения фосфоритов на платформах связываются в основном с третьей зоной. Они известны в различных ее частях,

начиная от прибрежной области, где накапливаются перемытые фосфориты и кончая более глубоководной частью, располагающейся вдали от континента в открытом море.

Согласно теории А. В. Казакова (1939), фосфатообразование приурочивается к определенной фациальной области, располагающейся на глубинах не более 300 м. Последние экспериментальные работы, проведенные А. И. Смирновым и другими (1962), показали, что морская вода повсеместно близка к насыщению фосфатом кальция. Следовательно, выделение этого соединения в осадок, сопровождающееся образованием фосфоритов, может иметь место близко от берега водоема.

Фосфориты располагаются следующим образом: в непосредственной близости от берега фосфоритовые галечники, далее фосфоритовый песок, в более глубоководных зонах желваковые, а затем и пластовые фосфориты. Последние формируются в краевых прогибах и геосинклинальных областях, два первых типа — на крыльях антиклинальных платформенных структур, а иногда в области их сводов.

Особое место среди рудных отложений описываемой зоны занимают концентрации малых, редких и рассеянных элементов. Они связаны с такими активными компонентами, как гидроокисные и окисные минералы железа и марганца, фосфориты, а также органическое вещество углей и горючих сланцев. Последние в зависимости от типа отложений накапливаются на разном расстоянии от берега. Мелководные сланцы формируются преимущественно в заливах близ устьев рек, приносящих биогенные элементы с суши (верхнеюрские сланцы Поволжья). Эти образования приурочиваются к склонам положительных структур платформ, преимущественно к склонам антеклиз, валов и периферической части щитов. В других структурно-тектонических условиях значительно дальше от берега образуются глубоководные сланцы, среди которых можно выделить два типа: 1) сланцы, отлагающиеся в водоемах с нормальным газовым режимом; 2) сланцы, отлагающиеся в водоемах с сероводородным заражением. Примером первых являются доманиковые сланцы верхнего девона, приуроченные к обширной наиболее глубоко прогнутой части платформы, к Восточно-Русской впадине с примыкающими к ней с востока Предуральскому краевому прогибу и Уральской геосинклинали. В водоемах с нормальным газовым режимом образовывались также юрские сланцы Поволжья.

Сланцы, образующиеся в водоемах с сероводородным заражением, накапливались в специфических условиях, преимущественно на территории геосинклинальных областей. Иногда они отлагались на платформах, в пределах краевых прогибов и других структурных элементов, прилежащих к геосинклиналям. Характерной особенностью их является отсутствие бентонной фауны при наличии большого количества остатков планктонных и нектонных форм. Сланцы приурочены обычно к глубоким частям водоемов, удален-

ным от берега, поскольку в области мелководья сероводородное заражение отсутствует.

Примером отложений этого типа могут служить глинистые породы майкопской свиты, широко развитые в периферической зоне Крымско-Кавказской геосинклинали и в Предкавказском краевом прогибе. Они заходят также на южную окраину Русской платформы и прослеживаются на север вплоть до Ергеней. Глины майкопской свиты весьма богаты органическим веществом. Некоторые различия их приобретают характер горючих сланцев. Последние содержат значительное количество редких и рассеянных элементов. Одни из них связываются с органическим веществом, другие — со специфическими минеральными накоплениями, подчиненными толще глин.

Майкопские глины накапливались в пределах огромной области, большая часть которой отстояла далеко от берегов. Однако породы, которые содержат повышенные количества различных рудных элементов, тяготеют к берегу или располагаются на приподнятых участках в пределах водоема.

Галогенные образования также встречаются среди отложений третьей зоны. Лишь изредка они встречаются во второй зоне среди отложений соляных озер засушливых областей. Отложение солей происходит в лагунах, заходящих глубоко в область материка, например, в заливе Кара-Богаз-Гол. С другой стороны, наиболее крупные залежи солей формируются в морских водоемах типа солерудных бассейнов (Соликамские и многие другие месторождения). Они приурочиваются к наиболее глубоко прогнутым частям платформ: к краевым прогибам и крупным синеклизам. Отложение солей происходит за счет выпадения их из водной массы бассейна. Доля минеральных веществ, поступающих непосредственно с берега, обычно невелика.

Значительная часть рудных компонентов приносится в третью зону с суши. Они образуются в результате разрушения материнских пород и кор выветривания, развитых в области питания. Известную роль играет материал, образующийся за счет переотложения континентальных осадочных толщ второй зоны. Наряду с этим в третьей зоне появляется новый источник рудных компонентов — водная масса морского бассейна, из которой за счет сорбции, прямой садки и других процессов выделяется ряд рудных минералов, образующих накопления в составе донных отложений.

В третьей зоне отложение происходит обычно в условиях слабощелочной среды из водной массы, богатой электролитами, что приводит к быстрой коагуляции коллоидов, приносимых в водоем. Водная масса, как правило, богата кислородом, вследствие чего рудообразование протекает в окислительной обстановке. Среди современных водоемов известны такие, в которых вода заражена сероводородом и где господствуют восстановительные условия, однако, нам неизвестны ископаемые рудные накопления, связанные с такими водоемами.

В качестве активных компонентов в пределах третьей зоны сохраняют свою роль окисные и гидроокисные соединения железа, алюминия и марганца. Накопления органического вещества представлены в третьей зоне более многообразными формами, чем во второй. В третьей зоне возрастает роль органического вещества в качестве активного компонента. Появляется также новый активный компонент в форме фосфатного вещества, которое играет весьма существенную роль в образовании первичных накоплений урана, а также некоторых редких и рассеянных элементов.

Рудные месторождения третьей зоны располагаются преимущественно в пределах отрицательных структурных элементов платформы. Однако известны случаи, когда в эпоху крупных опусканий морские рудоносные образования располагаются в комплексе пород, залегающих трансгрессивно на щитах. Например, на Украинском кристаллическом щите располагается морское осадочное Никопольское марганцевое месторождение.

В глубоководных частях современных водоемов, где формируются огромные массы железо-марганцевых конкреций, фосфатные новообразования, отдельные накопления барита и развито подводное вулканогенно-осадочное рудообразование, можно выделить особую зону седиментации и рудообразования, характерную в основном для современной эпохи\*. Рудные концентрации, формирующиеся здесь, произошли частью за счет металлов, поступивших с суши, частью же они имеют эндогенное происхождение и внесены в водную массу в результате деятельности подводных гидротерм и эксгаляций. В ископаемом состоянии не встречены достоверно установленные руды данной (четвертой) зоны.

Описанная зональность в распределении остаточных и осадочных (седиментационных) месторождений преимущественно в пределах платформенных областей не распространяется на вулканогенно-осадочные месторождения, поскольку рудный компонент в последнем случае имеет эндогенное происхождение и рудообразование зависит не только от условий, господствующих на земной поверхности.

Описанная схема зональности осадочного рудообразования носит несколько отвлеченный характер. В качестве конкретного примера такой зональности можно сослаться на распределение месторождений на Либерийском щите в Африке и на Индийской платформе. Вся южная часть последней, расположенная к югу от Индо-Гангской низменности и включающая Деканское плоскогорье и сопредельные области, представляет собой преимущественно зону формирования остаточных отложений. Большая часть этой территории покрыта современными тропическими и субтропическими красноземами и черными почвами. Местами наблюдаются латериты, которые в большинстве случаев образовались в предшествующие

---

\* Эта зона в данной работе не выделяется, так как до сих пор неизвестны ископаемые аналоги рудных отложений открытой части современных океанов.

геологические эпохи, возможно, в плиоцене. Современное континентальное осадкообразование проявляется относительно слабо и ограничено аллювиальными равнинами, преимущественно на севере, а также весьма немногочисленными впадинами и озерными котловинами. В пределах описываемой территории местами, по-видимому, происходит формирование современных латеритных образований. Этот процесс идет в Западных Гатах и в нижнем течении Ганга, близ впадения в него Брахмапутры. Западные Гаты представляют собой невысокую горную цепь, протягивающуюся в прибрежной части на юго-западе Индостанского полуострова. Высота их в среднем 1000—2500 м. Положение в прибрежной области обуславливает значительное количество (более 2000 мм в год) атмосферных осадков. В то же время в течение года здесь наблюдается чередование резко выраженных сухих и влажных периодов, что в сочетании с жарким климатом создает благоприятные условия для образования латеритов.

Подобные же условия, но с еще большим среднегодовым количеством осадков имеют место в нижнем течении рек Ганга и Брахмапутры, где также, по-видимому, происходит формирование современных остаточных латеритных образований.

Континентальные седиментационные отложения второй зоны накапливаются в пределах Индо-Гангской впадины, где их мощности достигают весьма значительной величины, а также в долинах и других пониженных участках на Деканском плоскогорье.

На юго-западе Индийской платформы первая зона на огромном протяжении ограничивается берегом океана. Отложения второй зоны здесь выпадают, и в прибрежной полосе на узком шельфе происходит образование полезных ископаемых, характерных непосредственно для третьей зоны. Это морские россыпные месторождения Траванкура и других районов. Иные осадочные полезные ископаемые здесь не формируются из-за узости шельфа, открытого для разрушающей деятельности морских волн. На восточном побережье в мангровых зарослях идет накопление органического вещества с образованием специфических пород, богатых органикой.

Ширина зон, их конфигурация и даже последовательность подвержены значительным изменениям. Не всегда выделяются все три зоны седиментации и рудообразования.

Экзогенные рудные процессы слабо проявляются в современную эпоху. Даже в пределах Индийской платформы и других тропических областей имеются единичные месторождения, относящиеся к различным зонам седиментации и рудообразования. Однако во время рудных эпох геологического прошлого зональность хорошо проявлялась на крупных платформах. Она устанавливается при сочетании благоприятного геотектонического режима и оптимальных климатических условий, чаще всего на фоне относительно стабильного стояния платформы или медленных дифференциальных

движений ее в условиях влажного тропического климата, характерного хотя бы для части региона.

Но и при сухом климате сохраняются основные элементы описываемой зональности; приподнятые гористые участки даже среди пустынных областей отличаются значительным количеством осадков. Здесь идет интенсивное разрушение пород и вынос материала в пределы соседних территорий. Вторая и третья зоны полностью сохраняют свое значение, однако седиментация и рудообразование в них приобретают специфические особенности. Идет накопление различных солей, формируются урановые и уран-ванадиевые катагенетические руды, медистые песчаники и близкие к ним по генезису месторождения. Происходит также отложение горючих ископаемых — торфов и сапропелитов, часто обогащенных рудными элементами. Может осуществляться формирование асинхронных месторождений железа, алюминия и других металлов.

Вопрос о закономерном распределении отдельных элементов в осадочных морских толщах впервые был поставлен А. Е. Ферсманом. Позднее его касался Л. В. Пустовалов (1940), неоднократно рассматривал Н. М. Страхов (1947, 1960—1962).

Закономерности распределения месторождений рассматривались Б. П. Кротовым (1955), В. И. Поповым (1950) и другими авторами. Предложенные схемы составлены в основном применительно к морским осадочным образованиям третьей зоны и относительно редко распространяются на континентальные образования второй зоны. Закономерности, установленные упомянутыми исследователями, несомненно, должны быть использованы при определении положения месторождений внутри третьей и частью второй зон.

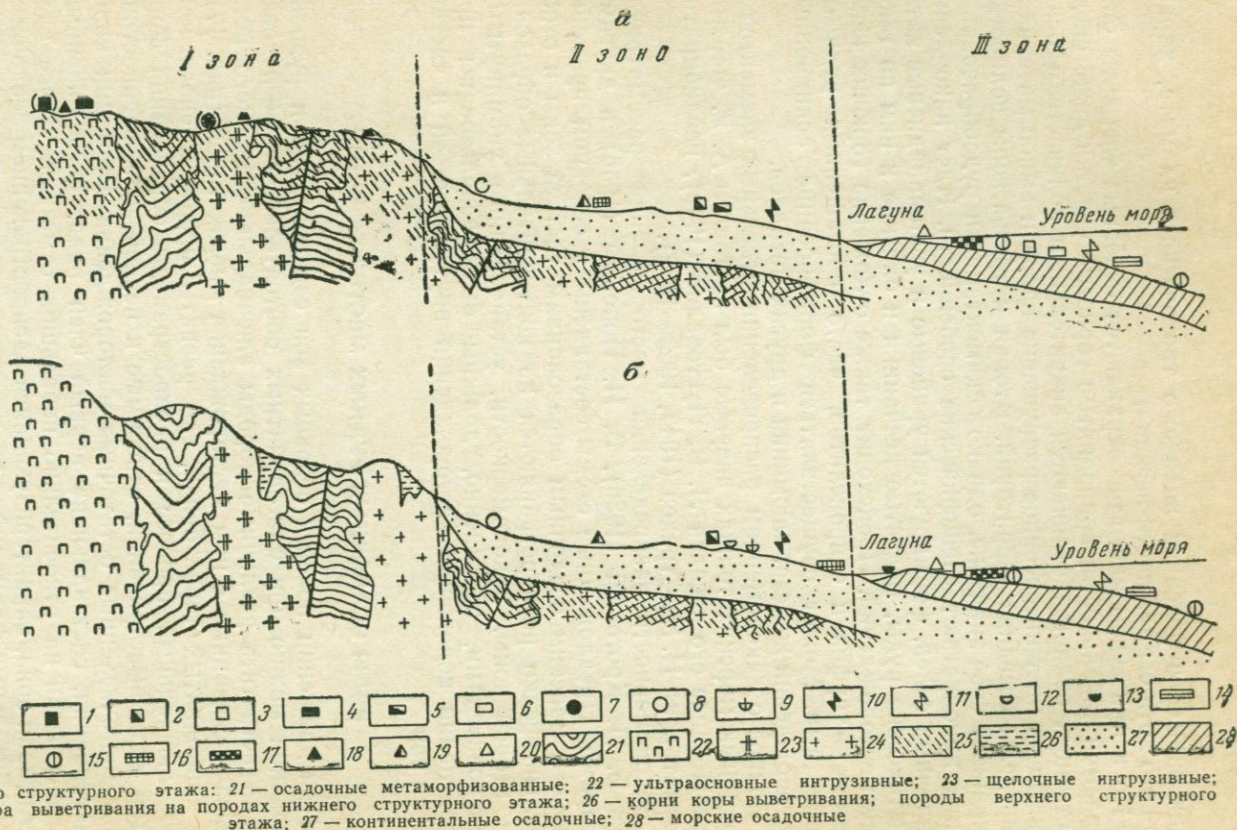
## РЯДЫ ОСАДОЧНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При движении поперек основных зон седиментации и рудообразования можно при благоприятных обстоятельствах последовательно встретить различные породы элювиально-осадочного комплекса и связанные с ним месторождения многих типов (рис. 17). На приподнятых территориях, где развиты процессы сноса или идет элювиальный процесс и распространены образования формаций коры выветривания, относимые к первой зоне, распространены многочисленные остаточные месторождения формации коры выветривания, составляющие первый член ряда, расположенный орографически на относительно небольших отметках. Далее следует вторая зона, характеризующаяся распространением осадочных континентальных формаций, с которыми связаны речные, болотные, озерные и некоторые другие месторождения. Все они относятся ко второму члену ряда и орографически лежат в области равнин, переходящих в низины, постепенно спускающиеся к морю. В пределах морских бассейнов третьей зоны формируются осадочные месторождения третьего члена ряда. Они связываются с формациями

Рис. 17. Сводный ряд месторождений платформенной области, формирующихся в условиях влажного (а) и сухого (б) климата.

**Месторождения железа:**

1 — остаточные; 2 — осадочные континентальные; 3 — осадочные морские. Месторождения марганца: 4 — остаточные; 5 — осадочные озерные; 6 — осадочные морские. Бокситовые месторождения: 7 — латеритные (остаточные); 8 — осадочные континентальные; 9 — медистые песчаники. Месторождения урана: 10 — континентальные; 11 — морские; соли: 12 — озерные; 13 — лагуно-морские; 14 — горючие сланцы (один из типов); 15 — фосфориты (различные типы); 16 — угли лимнические, обогащенные рудными элементами, поступившими из первой зоны; 17 — угли паралические. Россыли: 18 — элювиальные, 19 — речные и другие осадочные континентальные; 20 — морские. Породы нижнего структурного этажа: 21 — осадочные метаморфизованные; 22 — ультраосновные интрузивные; 23 — щелочные интрузивные; 24 — граниты; 25 — кора выветривания в породах нижнего структурного этажа; 26 — корни коры выветривания; породы верхнего структурного этажа; 27 — континентальные осадочные; 28 — морские осадочные



морских отложений и располагаются на отметках ниже уровня моря, но в пределах шельфа на подводном продолжении платформы. В расположении этих месторождений существует определенная закономерность, связанная с расстоянием от берега, которой подчиняются месторождения, образующиеся как за счет поступления металла с суши, так и за счет выделения его из водной массы.

В большинстве случаев можно с полным основанием считать, что осадочные месторождения, образовавшиеся за время рудной эпохи, когда из области питания более или менее постоянно поступает минеральный материал, занимают в пределах ряда определенное положение. Оно связано вначале (на суше) с расстоянием от области сноса, а затем (в морском бассейне) — с расстоянием от берега водоема. Положение же остаточных месторождений в пределах первой зоны и соответственно в пределах ряда определяется: 1) относительным распределением материнских пород благоприятного состава; 2) расположением разрывных нарушений, зон трещиноватости и другими особенностями геологии района; 3) элементами геоморфологии, способствующими глубокому химическому выветриванию пород. Известно, что остаточные месторождения силикатного никеля формируются на породах ультраосновного состава в пределах слабовсхолмленных поверхностей выравнивания (Кимперсайское месторождение), а контактово-карстовые месторождения его связываются, помимо этого, еще и с зонами тектонических нарушений (Уфалейское месторождение).

Не следует думать, что различные месторождения одного ряда всегда непременно будут сконцентрированы в пределах маломощной серии слоев, отложившихся за небольшой промежуток геологического времени. Против этого свидетельствует длительность процесса рудообразования, который включает мобилизацию рудного вещества на суше, протекающую достаточно медленно и отделяющуюся в случае асинхронного рудообразования значительным отрезком времени от эпохи формирования первичных рудных залежей. Точно так же рудные компоненты, поступающие в морскую воду, зачастую накапливаются в ней в течение многих веков и начинают переходить в донную фазу только при возникновении особо благоприятных условий. Различные элементы часто неодновременно выпадают из водной массы, причем отложение их может быть разделено длительными промежутками времени, укладываемыми, однако, в пределы рудной эпохи.

Полный сводный ряд месторождений может сформироваться в течение длительного времени (век, эпоха, а иногда геологический период, соответствующий по длительности рудной эпохе). Месторождения одного ряда во многом отличны друг от друга. Они отличаются по времени образования (начало, конец рудной эпохи или ее середина). В состав ряда могут входить месторождения различных полезных ископаемых, например, железа, фосфора, горючих сланцев и т. п. Они могут формироваться в различных условиях: на суше, в пониженных участках, в области озерных водоемов,

в морях. Несмотря на эти отличия, отдельные члены ряда обычно связаны друг с другом приуроченностью к одному крупному структурно-тектоническому региону, например к щиту на платформе. Их объединяют также приуроченность к одной рудной эпохе, общность климатических условий\*, подчас единый источник рудных компонентов и другие особенности.

Месторождения, входящие в состав сводного ряда, во многом определяются характером эпохи, в течение которой происходило рудообразование. Если рудная эпоха протекала в условиях влажного климата (см. рис. 17, а), то в первой зоне могут быть сформированы различные остаточные месторождения, часть из которых при особых условиях может иметь латеритный характер. Во второй зоне будет идти формирование месторождений бокситов, железных руд речного, озерного и других типов, аллювиальных россыпей, углей, обогащенных рудными компонентами, и других месторождений. В третьей зоне может идти формирование прибрежных россыпей редких и рассеянных элементов, паралических углей, магнетитовых песков и других образований. Несколько далее, но также близ берега могут накапливаться оолитовые железные руды, руды марганца (различных типов) и фосфоритовые галечники и пески. Другие разновидности фосфоритов, а также горючие сланцы будут располагаться на различной глубине в удалении от берега. Подобный ряд месторождений можно наметить в палеогене Украинского щита и прилегающего к нему с юго-востока района. Здесь известны остаточные силикатные никелевые месторождения (долины Южного Буга), латеритные бокситы (Высокопольское месторождение и бокситопроявления), угольные месторождения Днепровского бассейна и другие образования, связанные со второй зоной. К третьей зоне (к третьему члену ряда) относятся некоторые россыпные месторождения, Никопольское и Больше-Токмакское месторождения марганца, костные фосфатные накопления, глины, богатые органическим веществом, переходящие в горючие сланцы, и другие образования, связанные с майкопской свитой.

Иначе выглядит сводный ряд месторождений, образовавшихся за время рудной эпохи в условиях сухого климата (см. рис. 17, б). В этом случае первая зона фактически сливается с областью сноса; кора выветривания и остаточные месторождения не образуются. В пределах второй зоны формируются пески, обогащенные медью, преобразующиеся в медистые песчаники, отдельные типы урановых месторождений, соляные залежи озерного происхождения. Если в районе имелись древние коры выветривания (образовавшиеся до начала рассматриваемой эпохи) и связанные с ними остаточные месторождения, то при размыве могут сохраниться корни коры выветривания. Во второй зоне в этом случае возможно формирование переотложенных месторождений железных руд, бокситов и других полезных ископаемых.

\* В случае синхронных месторождений.

В третьей зоне отлагаются каменная соль и другие галогенные образования, происходит накопление фосфоритов, урановых руд, горючих сланцев. В прибрежной полосе встречаются переотложенные руды.

Конкретные ряды платформенных месторождений, составленные для разных рудных эпох, заметно отличаются от описанных, имеющих несколько отвлеченный характер. В них в зависимости от климата могут получить преобладающее развитие месторождения какого-либо одного типа, тогда как другие будут играть ничтожную роль или отсутствовать в составе ряда.

При работах по прогнозу необходимо установить, в пределах каких зон в течение рудных эпох располагалась интересующая нас область. Предположим, что она представляла собой полосу, захватывающую часть первой и второй зон. В этом случае в ее пределах в определенном стратиграфическом интервале, соответствующем рудной эпохе, следует ожидать возможность встречи континентальных остаточных месторождений первого члена и седиментационных второго члена ряда. Месторождения руд какого-либо одного металла, но относящиеся к различным генетическим типам, также могут быть сведены в один ряд. Конкретные ряды подобного рода приводятся в пятой главе. Здесь в качестве примера рассматривается только сводный ряд бокситовых месторождений применительно к условиям платформенных областей.

### Сводный ряд бокситовых месторождений

Наличие связи бокситов с элементами тектонической структуры и палеорельефа позволило установить последовательность размещения бокситовых месторождений различных типов, начиная от области древних плато, на которых формировались латеритные коры выветривания, к соседним пониженным равнинным областям, где накапливались минеральные вещества, выносившиеся при образовании кор, или продукты разрушения пород коры выветривания, происходившего в более позднее время. Бокситовые месторождения различных генетических типов могут быть сведены в ряд, который включает (рис. 18):

1) латеритные месторождения площадной и линейной коры выветривания, формирующиеся на плато;

2) месторождения переотложенных бокситов, связанные с глубоким карстом, развитым в областях распространения карбонатных пород в пределах плато;

3) делювиальные и пролювиальные месторождения, формирующиеся на склонах плато к соседней пониженной равнине и у подножий склонов;

4) аллювиальные месторождения, располагающиеся на пониженной равнине в верхних частях прорезающих ее речных долин;

5) озерные и болотные бокситы, приуроченные: а) к понижениям, возникшим в области контакта пород силикатного и карбо-

натного состава; б) к депрессиям неглубокого карста, развитым в карбонатных породах на пониженной равнине; в) к понижениям другого происхождения, занятым болотами или озерами.

Обычно наблюдаются лишь отдельные члены сводного ряда, сохранившиеся от процессов последующего уничтожения в результате размыва.

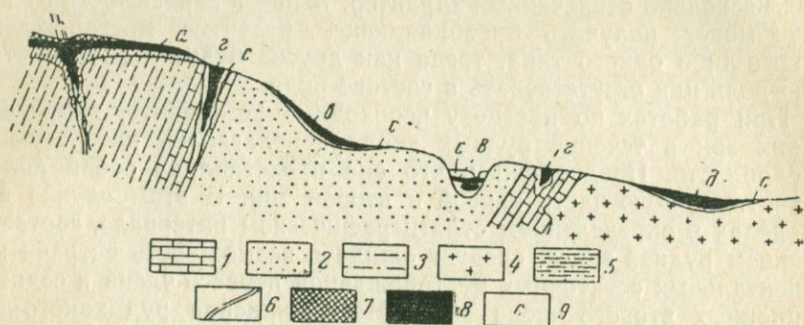


Рис. 18. Сводный ряд бокситовых месторождений

1 — известняки; 2 — песчаники; 3 — хлоритовые сланцы; 4 — граниты; 5 — кора выветривания хлоритовых сланцев; 6 — зона разрывных нарушений; 7 — кирасса; 8 — бокситы; а — остаточные, б — делювиальные, в — аллювиальные, г — карстовые, д — котловинные; 9 — породы, вмещающие бокситы и подстилающие их

### Неполнота рядов осадочных рудных месторождений

Описанные сводные ряды минеральных месторождений платформ обычно не сохраняются в ископаемом состоянии. Имеется множество факторов, которые обуславливают выпадение месторождений того или иного типа. В большинстве случаев до нас доходят как бы отдельные обрывки естественных рудных ассоциаций, представленные единичными месторождениями или рудопроявлениями. По этим «останцам» иногда можно восстановить весь ряд или хотя бы один из его членов. Имеются значительные трудности по синхронизации рудных месторождений остаточного генезиса как с осадочными континентальными месторождениями второй зоны, так особенно с морскими месторождениями третьей зоны.

Неполнота рядов осадочных месторождений обычна в случае асинхронного рудообразования, когда концентрация рудного компонента в коре выветривания и формирование остаточных месторождений отделены значительным отрезком времени от эпохи образования седиментационных рудных концентраций. Подобное положение вещей часто осложняется еще размывом, который уничтожает кору выветривания и остаточные образования. В этом случае отсутствуют месторождения первого члена ряда.

Однако и при синхронном рудообразовании наблюдается выпадение целых зон седиментации и месторождений, связанных с ними. Так, например, если область формирования коры выветривания на континенте прослеживается непосредственно до берега морского

водоёма, то происходит полное выпадение седиментационных континентальных образований и рудных месторождений, связанных с ними (юго-западная окраина Индийской платформы).

Другой неполный ряд интересен тем, что в состав его входят образования, возникающие обычно в разных климатических поясах. В Прибалхашье можно наблюдать: 1) накопление торфов, которые обычно связаны с областями влажного климата. Здесь же они образовывались в условиях засушливой зоны в отдельных участках нижней террасы оз. Балхаш и впадающей в него р. Или; 2) своеобразное сапропелевое накопление, формировавшееся до последнего времени в виде тонкой корки на бичевнике одного из заливов озера; 3) многочисленные залежи сульфата натрия и поваренной соли, отлагающихся в озерах, отшнуровавшихся от Балхаша или располагающихся в нижнем течении его притоков. Месторождения солей, являющиеся характерными образованиями областей засушливого климата, возникают здесь одновременно с торфом.

В качестве еще одного примера можно сослаться на неполный ряд месторождений, связанных с отложениями кутанбулакской свиты олигоцена Тургайского пролива и Приаралья. К ним относятся титановые россыпи, тяготеющие к восточному склону Урала, многочисленные лигнитовые месторождения Тургая, а также Приаральские железорудные месторождения речного и дельтового (Центральный Кок-Булак) типа. Наконец, их сменяет наиболее далеко отстоящее от области сноса железорудное месторождение озерного происхождения (Южный Кок-Булак) (Формозова, 1959).

Последующий размыв зачастую приводит к тому, что многие ранее сформированные месторождения ряда уничтожаются. В результате нарушается естественная ассоциация рудных месторождений. Совокупность последних и в этом случае составит ряд, который правильно назвать сокращенным, поскольку выпадение его членов вызвано особенностями последующего геологического развития страны, приведшими к уничтожению ранее существовавших рудных месторождений. Сокращенные ряды, как правило, отличаются преимущественным распространением третьего члена, поскольку морские месторождения, накапливающиеся в наиболее глубоких частях депрессий, обычно лучше всего сохраняются. Реже всего сохраняются отложения первого члена ряда, которые приурочены к положительным элементам рельефа и уничтожаются в первую очередь. Месторождения, связанные со вторым членом ряда, занимают промежуточное положение.

Закономерное положение каждого конкретного осадочного месторождения в пределах той или иной зоны и в составе сводного ряда имеет большое значение для прогноза и поисков. В связи с этим каждое месторождение следует рассматривать как благоприятный признак, указывающий на возможность обнаружения неизвестных еще рудных месторождений. Можно надеяться встретить новые месторождения того же полезного ископаемого, относящегося к тому же генетическому типу, что и ранее известное.

Наряду с этим есть основания встретить месторождения другого генетического типа того же металла и, наконец, месторождения некоторых других полезных ископаемых, образующихся в сходных условиях.

Поиски новых месторождений того же генетического типа в первом приближении следует вести в направлении простираения зон. Необходимым условием является наличие тех же структурно-тектонических и геоморфологических условий и накопление тех же фациальных типов осадочных отложений, что и на известном объекте. Большое значение имеют также расстояние от источника рудного компонента и некоторые другие общие черты, свойственные области отложения. В качестве примера, удовлетворяющего этим условиям, можно сослаться на палеоценовые месторождения марганцевых руд на восточном склоне Урала. Все эти месторождения — Марсятское, Екатерининское, Юркинское и другие более мелкие — приурочены к одному фациальному типу отложений, вытянутых в меридиональном направлении вдоль восточного склона Уральского хребта параллельно границе второй и третьей зон. Можно предположить, что в этой полосе будут найдены новые месторождения.

Другой пример месторождений одного генетического типа, расположенных в общем полосой, представляют Синаро-Теченское, Мугайское и Аятское железорудные месторождения, связанные с верхнемеловыми отложениями на Восточном склоне Урала. Они располагаются в прибрежной части верхнемелового водоема близ границы второй и третьей зон, более или менее параллельно этой границе.

Месторождения полезного ископаемого близкого генетического типа не должны следовать друг за другом в пределах одного возрастного интервала поперек зон седиментации и рудообразования. В этом направлении, в общем совпадающем с направлением сводного ряда месторождений, происходит относительно быстрое изменение физико-географических условий на земной поверхности и возможно появление рудных месторождений других генетических типов. Однако следует иметь в виду, что фаии не всегда расположены параллельно границам зон и во многих случаях, особенно среди континентальных отложений, заметно отклоняются от этих границ. Понятно, что выражения «поперек зон седиментации и рудообразования», «параллельно границам зон» и другие понимаются нами в известной мере условно. В случае связи с трансгрессивной серией рудные месторождения одного и того же типа будут смещаться в сторону поднятий, постепенно заливаемых морем.

Месторождения того же полезного ископаемого, но иных генетических типов, так же как и месторождения других полезных ископаемых, следует искать в направлении, перпендикулярном границам зон. При этом вначале следует определить положение известного месторождения в пределах сводного ряда. Это позволит высказать предположения о том, в какую сторону от данного объек-

та искать месторождения того или иного типа. Если известное месторождение связано со вторым членом ряда, то в области погружения пород вмещающего комплекса можно встретить морские месторождения различных элементов. В сторону поднятий палеорельефа будут располагаться разнообразные остаточные месторождения. Если в пределах первой зоны известны элювиальные россыпные месторождения, то имеются основания ожидать в близком стратиграфическом интервале аллювиальные россыпи в пределах второй зоны и переотложенные морские россыпные месторождения — в третьей. Подобным же образом наличие остаточных бокситовых месторождений в первой зоне дает основание считать, что в пределах второй зоны могут быть найдены переотложенные делювиально-пролювиальные и другие месторождения этого полезного ископаемого. И, наоборот, переотложенные залежи позволяют искать коренные месторождения. Пример Арканзасского месторождения (см. рис. 1) подтверждает сказанное.

### **СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПРИУРОЧЕННОСТЬ ОСАДЧОГО ОРУДЕНЕНИЯ**

Зоны седиментации и рудообразования не всегда представляют собой обширные непрерывные площади, вытянутые в определенном направлении. Иногда они слагаются из небольших участков, чередующихся между собой и сменяющих друг друга, на первый взгляд, беспорядочно. Однако в их распределении имеется известная закономерность, определяющаяся приуроченностью к орографическим, структурно-тектоническим элементам платформ и историей геологического развития региона. Установлено, что при переходе от одной рудной эпохи к другой положение зон в основном сохраняется, хотя чаще происходит изменение их величины и конфигурации, а иногда имеет место существенное смещение их в пространстве.

### **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПИТАЮЩИХ ПРОВИНЦИЙ**

При образовании осадочных месторождений на платформах питающие провинции (области сноса) обычно располагаются на месте положительных тектонических структур первого и второго порядка — щитов или антеклиз, а также в пределах приподнятых частей складчатых областей и областей возрожденной складчатости, прилегающих к платформам. Они полностью или частично характеризуются более высоким орографическим положением и представляют собой области сноса — разрушения материнских пород и выноса минерального материала. В антеклизах вынос обычно осуществляется периодически в течение эпох поднятия и размыва, сменяющихся затем длительными эпохами седиментации. Антеклизы лишь на первых этапах развития платформ характеризуются широким распространением пород нижнего структурного

этажа. В дальнейшем в их пределах постепенно накапливаются более или менее мощные толщи осадочных пород, целиком или в значительной мере перекрывающих породы фундамента. Тем самым антеклизы теряют свою роль областей сноса и умеренно возвышающихся областей, выделяемых в первую зону и являющихся поставщиком материала для образования осадочных месторождений. Осадочные породы, накапливающиеся здесь в ходе геологической истории, периодически выводятся на поверхность и подвергаются выветриванию, но они мало благоприятны для выщелачивания рудных компонентов и для образования остаточных месторождений. Известны многочисленные случаи, когда участки суши, находясь в благоприятных орографических и климатических условиях, но, будучи сложены кварцевыми песчаниками, известняками и другими осадочными породами, из-за особенностей состава последних не могут служить источником рудного материала, необходимого для образования осадочных и остаточных месторождений.

Щиты при прочих равных условиях в течение длительного времени могут представлять собой область, относящуюся в первой зоне, и быть надежными питающими провинциями в течение многих рудных эпох. Это обусловлено наличием в их пределах пород различного состава, слагающих нижний структурный этаж платформ. Понятно, что различные магматические и метаморфические породы с комплексом месторождений, связанных с ними, поставляют при выветривании весьма большое количество различных элементов, в том числе и рудных. Последние постоянно выносятся отсюда, мигрируют в области отложения и обуславливают образование рудных месторождений. Хорошим примером является Украинский щит, породы которого дали минеральный материал для образования многочисленных остаточных и осадочных месторождений.

Материнские породы, распространенные в области щитов, подвергаются более глубокой переработке вследствие того, что они в течение долгого времени находятся на поверхности и доступны непосредственному воздействию агентов выветривания. Это обстоятельство увеличивает значение щитов и в качестве источника питания при образовании осадочных рудных месторождений второй и третьей зон.

В качестве поставщика минерального материала при образовании осадочных месторождений большую роль играют невысокие горные страны, расположенные в складчатых областях и примыкающие к платформам, отнесенные ранее к первой зоне. Наиболее перспективны из областей, примыкающих к платформам, те, которые представляют собой древние складчатые сооружения, достаточно глубоко вскрытые эрозией. В этом случае на поверхности обнажается комплекс различных пород, поставляющих широкий круг рудных элементов, переносимых в область отложения. Примером складчатой области, в течение длительного времени поставлявшей материал для образования осадочных минеральных место-

рождений, является Урал. Принос рудных компонентов из этой горной страны обусловил образование многих рудных месторождений в восточной части Русской платформы (медистые песчаники Приуралья, Улутелякское месторождение марганцевых руд) и особенно в западной части молодой Урало-Сибирской эпигерцинской платформы (россыпи, месторождения железных и марганцевых руд, бокситов).

Области развития траппового вулканизма на платформах также поставляют минеральный материал, необходимый для образования месторождений. Напомним ископаемые россыпи: титаноносные песчаники в юрских отложениях Иркутского амфитеатра на Сибирской платформе, образованные за счет разрушения траппов, а также некоторые из бокситовых месторождений Чадобца и латеритные проявления Широкого Палкана.

### ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ОСТАТОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Коры выветривания и остаточные месторождения типичны в основном для платформенных областей. Гораздо реже встречаются они в геосинклиналях. В пределах платформ наиболее перспективные коры выветривания локализируются на породах, слагающих нижний структурный этаж. Это обусловлено прежде всего особенностями исходных материнских пород. С другой стороны, перед отложением пород верхнего структурного этажа платформы всегда имеет место и значительный перерыв в осадконакоплении, в течение которого могло происходить глубокое химическое разложение с образованием коры выветривания и остаточных месторождений. Так было в нижнем и частью в среднем (Воронежская антеклиза) палеозое на Русской платформе, когда мощный комплекс пород нижнего структурного этажа подвергся длительному выветриванию. Образовавшаяся древняя кора выветривания, особенно в местах тектонических нарушений, достигла значительной мощности. Корообразование было широко распространено на молодой эпигерцинской Урало-Сибирской платформе в эпоху, предшествовавшую накоплению пород осадочного чехла.

Можно предположить, что перед отложением пород верхнего структурного яруса значительная часть территории любой платформы была покрыта корой выветривания. Исключением могли явиться отдельные участки в области щитов, если они уже наметились к тому времени и были настолько высоко приподняты, что находились вне интенсивного течения процессов химического выветривания и представляли собой область сноса. Кора выветривания не могла также развиваться в областях глубокого прогибания на платформе. Здесь шел процесс накопления осадков и должно было происходить быстрое перекрытие материнских пород субстрата седиментационными континентальными и морскими образованиями. Разумеется, что в древних полярных областях на платформах

выветривание имело специфический характер и было весьма замедленным.

Такой важный структурный элемент платформ, как плиты, в разное время относился к первой зоне и представлял собой при благоприятных условиях более или менее сплошную область распространения наиболее древней коры выветривания, развитой на породах складчатого основания. Поэтому здесь сосредоточено значительное количество различных остаточных месторождений. Кора выветривания и остаточные месторождения этой области лучше, чем на щитах, сохранились от последующего размыва, так как они были относительно быстро перекрыты наиболее древними породами осадочного чехла. Однако глубокое залегание пород фундамента делает область плит мало перспективной для поисков, поскольку остаточные месторождения полезных ископаемых обычно перекрываются тысячеметровыми толщами пород осадочного чехла.

Лишь по окраинам плит на границах их с положительными структурами, такими как щиты, а также в области антеклиз и других структур антиклинального характера древняя кора выветривания подходит относительно близко к поверхности. Здесь можно рассчитывать встретить месторождения остаточного генезиса на доступных глубинах. При прогнозе следует уделить особое внимание всем тем площадям, где в пределах плит породы фундамента перекрыты маломощным чехлом осадочных образований.

В пределах щитов и антеклиз интенсивное химическое выветривание могло проявиться неоднократно на различных этапах геологического развития платформ. Вследствие преобладающей тенденции к поднятиям, присущей щитам, они в последующем неоднократно являлись областями интенсивного размыва. При этом наиболее древняя кора выветривания с комплексом остаточных месторождений могла оказаться частично или полностью размытой. С другой стороны, на щитах могло проявиться выветривание и в последующие эпохи, способствовавшее формированию относительно более молодых кор выветривания и остаточных месторождений в них. Поэтому в области щитов в настоящее время обычно распространены различные по составу остаточные образования, сформировавшиеся нередко в результате наложения процессов выветривания молодых эпох на более древние образования. Добавим, что строение омоложенных кор выветривания усложнено процессами неоднократного размыва и переотложения, которые могли протекать во время различных эпох корообразования. Для большинства щитов устанавливается несколько таких эпох. Так, на Балтийском щите известны коры выветривания, связанные по крайней мере с предъятулийской, каменноугольной и, вероятно, с еще более молодыми эпохами выветривания. Таким образом, область щитов перспективна для поисков уцелевших от размыва остаточных месторождений, связанных с различными эпохами формирования кор выветривания.

В пределах антеклиз остаточные месторождения, так же как и на щитах, связаны с площадями развития древних кор выветривания. Однако области распространения благоприятных материнских пород и кор выветривания здесь значительно меньше. Кроме того, на определенном этапе развития они в основном перекрывались осадочными образованиями и раньше, чем на щитах, переставали служить субстратом для образования продуктивных кор выветривания, а также источником сноса рудного вещества в соседние области седиментации.

В целом на платформах интенсивность остаточного рудообразования постепенно сокращается во времени в связи с разрастанием осадочного чехла (рис. 19, кривая 1). Однако это не относится к остаточным месторождениям, связанным с корой выветривания, развитой на траппах. Последняя возникает либо в эпохи, непосредственно следующие за завершением магматического процесса, либо в более позднее время, если трапы вскрыты разрывом.

В области активизированной платформы, или области возрожденной складчатости, остаточные месторождения имеют значительное распространение. Они сформированы непосредственно на породах складчатого основания в эпоху платформенного развития региона, еще до начала активизации тектонических движений. Остаточные месторождения залегают под осадочным чехлом в коре выветривания, развитой на фундаменте, и иногда уходят на большую глубину в областях тектонических нарушений или трещиноватости.

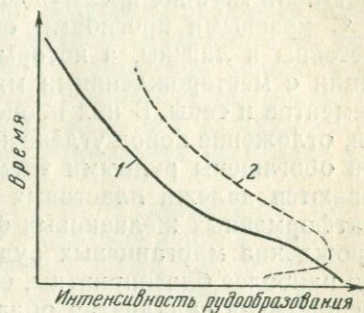


Рис. 19. Изменения интенсивности рудообразования на платформах во времени (в зависимости от развития осадочного чехла)

1 — остаточные руды; 2 — осадочные руды

### ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Осадочные рудные месторождения, возникшие в стадии первичного обогащения на платформах, как правило, связываются со щитами, крыльями антеклиз и других структур антиклинального характера. Так, на Русской платформе большинство экзогенных месторождений приурочено к сводовой части и к областям погружения Балтийского и Украинского щитов, к Воронежской антеклизе и ее северному крылу, к Тиманской антеклизе. В частности, наиболее крупные месторождения бокситов связываются с восточным погружением Балтийского щита и с Тиманской антеклизой. Тульские железные руды и проявления бокситов на территории

Калужской, Тульской и Рязанской областей приурочены к северному крылу Воронежской антеклизы, или, что то же самое, к южному крылу Московской синеклизы.

Связь с антиклинальными структурами более высокого порядка можно продемонстрировать на примере Чадобецких бокситовых месторождений, приуроченных к одноименному куполовидному поднятию на Сибирской платформе, Выксинского железорудного месторождения, тяготеющего к восточному крылу Окско-Цнинского вала на Русской платформе, и многих других объектов. Если осадочные месторождения приурочиваются к синеклизам и другим структурам синклинального характера, то они располагаются на доступной глубине преимущественно на крыльях.

С краевыми прогибами обычно связаны солеродные морские бассейны и лагуны, в которых шло образование галогенной формации с месторождениями минеральных солей, некоторых редких элементов и серы. В них происходит накопление медистых песчаников, отложение пород угленосной формации, отдельные члены которой обогащены рудными элементами. В краевых прогибах накапливаются залежи пластовых фосфоритов, отличные от типичных платформенных желваковых фосфоритов. Известны отдельные месторождения марганцевых руд (Улутеляк). Условия рудообразования наиболее благоприятны, если по соседству с краевым прогибом расположена складчатая область, испытывающая длительное поднятие, где обычно разрушается большое количество всевозможных пород разного состава.

В комплексе пород, залегающих на кристаллическом основании непосредственно близ контакта или несколько стратиграфически выше, сосредоточена большая часть первичноосадочных руд. Причина заключается в том, что на этом уровне может накапливаться материал, образовавшийся за счет процессов выветривания, которые начались вслед за консолидацией складчатого основания платформы. Выветривание в эту отдаленную эпоху проявлялось на огромной территории вновь образованной платформы. Подавляющая часть пород, слагающих верхние горизонты нижнего структурного этажа, была захвачена этим процессом. В результате большие массивы минеральных веществ поступали в пути миграции и переносились в области отложения, где участвовали в процессе седиментации, обогащали нижние горизонты осадочных толщ и служили источником рудных элементов, месторождения которых распространены в пределах второй и третьей зон.

Другим источником рудного материала явились минеральные вещества, образованные в результате размыва и переотложения коры выветривания, только что сформировавшейся на породах нижнего структурного яруса соседних складчатых областей. В эту эпоху были обнажены наиболее значительные площади, сложенные породами коры выветривания. Размыв и переотложение их дали огромное количество минерального материала, который приурочен к нижним горизонтам верхнего структурного этажа платформы.

Наибольшее число седиментационных месторождений, образованных в результате поступления материала из местных источников питания, связывается с нижними горизонтами осадочного чехла платформы.

В более позднее время, соответствующее эпохам накопления пород, залегающих стратиграфически выше, сложились менее благоприятные условия для образования седиментационных месторождений. В эти эпохи произошло значительное расширение второй и третьей зон за счет сокращения безрудной и первой. Тем самым была резко уменьшена возможность поступления рудного компонента за счет выветривания материнских пород в непосредственном соседстве с областью седиментации. Продукты перемыва коры выветривания приносились теперь в область седиментации уже издалека. Все это привело к тому, что интенсивность рудообразования повсеместно заметно снизилась. В результате центральные части областей седиментации постепенно оказались в таких условиях, при которых поступление рудного компонента все более затруднялось.

Наконец, на завершающей стадии развития платформы, когда кристаллическое основание их стало обнажаться лишь в пределах центральной части щитов и отдельными пятнами на антекклизах, седиментационное рудообразование могло локализоваться преимущественно по периферии этих структурных элементов. Осадочные месторождения тяготели в это время к областям распространения выходов пород нижнего структурного этажа на поверхность. При сокращении площадей выходов этих пород оруденение смещалось в пространстве и теряло интенсивность (см. рис. 19, кривая 2). Области завершённой складчатости, равно как и регионы, пережившие этап тектонической активизации, оказывают такое же определяющее влияние на осадочное рудообразование соседних частей платформы, как щиты и антекклизы. С них также в изобилии поступает минеральный материал, за счет которого формируются осадочные месторождения.

Само собой разумеется, что интенсивные проявления вулканизма на платформе могут существенным образом изменить эту схему. Массы магматических пород и других продуктов вулканической деятельности, появившиеся в той или другой части платформы, обуславливают поступление новых минеральных веществ в седиментационный цикл и способны на время изменить ход осадочного рудного процесса. Оценка возможной рудоносности платформы для каждой рудной эпохи должна базироваться на учете ряда условий. К их числу прежде всего относятся: 1) величина выходов на поверхность кристаллического основания платформы; 2) состав слагающих его пород, 3) характер тектонического режима и рельефа земной поверхности; 4) наличие эффузивного вулканизма и интенсивность его проявлений; 5) особенности климатических условий, благоприятных для развития процессов глубокого химического выветривания (теплый и влажный климат); 6) наличие условий,

обеспечивающих вынос продуктов выветривания материнских пород; 7) наличие условий, способствующих сохранению остаточных месторождений; 8) возможность размыва и переотложения продуктов коры выветривания и остаточных месторождений; 9) благоприятные условия в области отложения, допускающие образование осадочных рудных месторождений; 10) условия сохранности месторождений после их образования; 11) мощность осадочного чехла платформ и вероятная глубина залегания преобладающей массы месторождений. Кроме того, следует иметь в виду ряд других особенностей, имеющих частное значение.

### СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОГЕНЕЗА В СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ

Осадочный рудный процесс в геосинклинальных областях протекает иначе, чем в платформенных. В геосинклинальных областях отмечается повышенная тектоническая активность земной коры, выражающаяся в интенсивных вертикальных движениях, складкообразовании и формировании разрывных нарушений различных типов. Кроме того, геосинклинальные области характеризуются напряженной вулканической деятельностью, оказывающей большое влияние на процесс рудогенеза.

Первое отличие осадочного рудообразования в геосинклинальных областях сводится к тому, что роль коры выветривания по сравнению с платформами значительно снижается. Формирование коры выветривания затруднено, поскольку оптимальные условия стабильного тектонического режима, необходимые для ее образования, постоянно нарушаются. Процессы выветривания в пределах геосинклинальных областей могут местами достигать значительной интенсивности. Они приурочены к геоантиклиналям, которые характеризуются более четко проявленной тенденцией к восходящим движениям, чем соседние геосинклинали. Геотектонические условия в геосинклиналях не препятствуют формированию мощных кор выветривания. Последние образуются, очевидно, в эпохи относительного тектонического покоя, причем глубокое химическое выветривание пород происходит весьма быстро. В отличие от платформенных областей коры выветривания образуются здесь на относительно небольших площадях.

Древние коры выветривания формируются также в пределах других относительно приподнятых и устойчивых элементов геосинклинальных областей, таких как срединные массивы и отдельные жесткие «глыбы». В качестве примера можно привести Уссури-Ханкайский массив в Приморье, Грузинскую «глыбу» в Закавказье. Известны и другие устойчивые структурные элементы в геосинклинальных областях.

Наряду с благоприятной обстановкой для формирования древней коры выветривания в геосинклиналях существуют малоблагоприятные условия для их сохранности. Интенсивные поднятия, осо-

бенно характерные для геосинклиналей, выводят кору выветривания в высокогорную зону, где процессы размыва вообще и древних кор выветривания в частности протекают весьма напряженно и значительно активнее, чем в платформенных областях. Это приводит к разубоживанию продуктов переотложения коры выветривания за счет смешения (интеграции) их с различным по составу минеральным обломочным материалом, не подвергшимся глубокому химическому разложению.

Геологическая обстановка в геосинклинальных областях в меньшей мере, чем на платформах, способствует образованию, а главное сохранности остаточных месторождений. В этих условиях затруднено также образование осадочных месторождений, возникших в результате размыва различных пород, слагающих кору выветривания, и переотложения продуктов ее разрушения. Отсюда вытекает одна из особенностей рудогенеза в геосинклиналях и образовавшихся на их месте складчатых областях, отличающая их от платформ. Она заключается в том, что *в геосинклинальных областях уменьшается роль остаточных месторождений и роль коры выветривания при образовании осадочных месторождений.*

Это не означает, что геосинклинальные и складчатые области бесперспективны в отношении поисков месторождений, так или иначе связанных с корой выветривания. В частности, в пределах современных геосинклиналей известны коры выветривания и остаточные месторождения, формирующиеся в настоящее время. Так на о. Куба, который относится к геосинклинали Антильских островов, широко распространены коры выветривания, с которыми связаны многочисленные остаточные месторождения силикатного никеля. Известны коры выветривания и остаточные месторождения на островах Малайского архипелага и в ряде других мест, которые рассматриваются многими исследователями как современные геосинклинальные области.

Таким образом, формирование кор выветривания и остаточных месторождений в геосинклиналях устанавливается непосредственными наблюдениями. Неясно, однако, какие из этих образований сохранятся от размыва и перейдут в ископаемое состояние. Несомненно, что одни из них сохранятся, другие будут переотложены и дадут начало осадочным месторождениям и, наконец, третьи будут нацело уничтожены, продукты их размыва будут смешаны с другим минеральным материалом и рассеяны в толще пород, слагающих осадочные формации.

Особое значение имеют поверхности размыва и несогласия между структурными ярусами и структурными этапами в толще осадочных отложений в складчатых областях. Эти поверхности, а также горизонты пород, располагающиеся под ними и выше них, представляют особый интерес и должны подробно обследоваться при поисковых работах. Кратковременные перерывы в отложении толщ пород также заслуживают внимания, так как с ними зачастую связаны осадочные бокситы. В качестве примера можно сослаться

на месторождения геосинклинальных бокситов в Динарских Альпах на побережье Адриатического моря, в Пиринеях (Франция) и на Урале.

Второй существенной особенностью рудообразования в геосинклинальных и складчатых областях является наличие нового источника рудного материала, генетически связанного с эффузивным процессом. Значение этого фактора было подробно описано при характеристике вулканогенно-осадочного рудообразования. Здесь уместно отметить, что в настоящее время выявляется все большее число объектов такого генезиса. К их числу относятся многочисленные месторождения руд железа, марганца, фосфоритов, а также, по мнению многих авторов, сульфидных колчеданных руд.

Вулканогенный источник рудного вещества в геосинклиналях и складчатых областях выходит на первое место при формировании железорудных, марганцевых и колчеданных месторождений. Он как бы сменяет источники металлов, связанные с глубоким выветриванием материнских пород на земной поверхности и с корой выветривания, роль которых в подвижных зонах становится второстепенной.

Следует подчеркнуть, что в складчатых областях, возникших на месте геосинклиналей, создается малоблагоприятная обстановка для поисков рудных месторождений. Вследствие общего наклонного залегания пород пласты осадочных рудных образований быстро погружаются на значительную глубину в сторону падения и могут быть прослежены главным образом по простиранию. Это осложняет поисковые и разведочные работы, так как уже на относительно небольшом расстоянии от выхода на поверхность руды перекрываются мощной толщей более молодых пород. Чтобы просечь рудный пласт или дойти до горизонта пород, обладающих благоприятными признаками, необходимо проектировать проходку скважин на значительную глубину, что резко удорожает бурение и ограничивает возможность его использования при поисках.

Весьма ограничена также возможность применения геофизических методов при поисках геосинклинальных месторождений, так как физические свойства пород, залегающих на глубине под мощным покровом более молодых отложений, не улавливаются достаточно четко приборами на поверхности. Кроме того, в складчатых областях с их сложной тектонической структурой и многообразием пород различного состава, понижается степень достоверности выявленных геофизических аномалий и затрудняется их геологическая интерпретация. Все эти особенности резко ограничивают также возможность использования геохимических методов поисков, обуславливают необходимость разработки иных методов поисковых работ, чем на платформах.

Исходя из общих геологических представлений можно полагать, что с разными элементами тектонической структуры геосинклинальных областей связываются месторождения различных типов. Так, поскольку в эвгеосинклиналях накапливаются породы вулкано-

генно-осадочного комплекса, здесь можно ожидать месторождения руд, связанных именно с этими образованиями, в первую очередь вулканогенно-осадочные месторождения железных руд (как Калгатинское на Алтае) и марганца (типа месторождений Примагнитогорского района и других на Южном Урале).

В миогеосинклиналиях, где накапливаются формации осадочных отложений, могут быть встречены осадочные месторождения марганцевых руд типа Лабинского (Кавказ) или Мангышлакского. С этими же структурными элементами связываются месторождения бокситов, такие как в пределах Башкирской миогеосинклинали на Южном Урале или в миогеосинклинали, расположенной на восточном побережье Адриатического моря. Месторождения геосинклинальных бокситов формируются как в эвгеосинклиналиях (СУБР), так и в миогеосинклиналиях (ЮУБР).

К крупным специфическим синклинальным структурам, близким по характеру к наложенным мульдам (например, Джайльминская мульда в Центральном Казахстане), могут быть приурочены весьма значительные месторождения железных, марганцевых и свинцово-цинковых руд, связанных с породами вулканогенно-осадочного комплекса.

В пределах срединных массивов и устойчивых «глыб» в геосинклинальных областях есть основания ожидать отложения элювиально-осадочного комплекса с сохранившимися остаточными и осадочными рудами.

Рудные месторождения геосинклинального типа развиты в складчатых областях, не обнаруживают такой четко выраженной связи с элементами тектонической структуры, более высокого порядка, какая характерна для месторождений платформы. В связи с этим в складчатых областях особое значение приобретает связь месторождений с формациями осадочных отложений, прослеженная на фоне тектонического развития геосинклинали. Эту связь предлагается использовать при прогнозах и поисковых работах на геосинклинальные месторождения новым формационным методом (см. главу V).

Можно считать решенным вопрос о связи медистых песчаников, бокситов, вулканогенно-осадочных марганцевых руд с определенными формациями геосинклинальных и орогенных образований. В то же время для различных типов железных, марганцевых и некоторых других руд этот вопрос недостаточно разработан, и мы вынуждены руководствоваться еще неполными данными и общими соображениями при установлении связи их с определенными формациями.

На начальном этапе развития геосинклинальных областей происходит общее прогибание земной коры, сопровождающееся интенсивным осадконакоплением и напряженным вулканизмом. В интрагеосинклиналиях происходят наиболее резкие опускания и отложение мощных толщ осадочных и эффузивных образований нижней терригенной осадочной формации, а также спилит-кератофировой

и некоторых других вулканогенных формаций. Намечающиеся интрагеоантиклинали также, но в меньшей мере захватываются общей тенденцией к погружению, причем в их пределах, по-видимому, накапливаются те же типы образований, что и в соседних геосинклиналях. Отличия пород осадочных формаций геоантиклиналей сведутся к меньшей мощности и большей грубозернистости отложений, чем в пределах геосинклиналей.

Остаточное рудообразование в это время существенно не развито из-за ограниченного распространения участков суши. Оно в значительной мере подавляется поступлением массы терригенного материала, разбавляющего рудоносное отложение. В результате формируются главным образом мощные толщи пород, обогащенные металлом, а рудные концентрации не возникают. Примером могут служить ванадиевые сланцы Казахстана, коловратитовые сланцы Средней Азии, возможно, осадочные толщи пород, обогащенных железом, марганцем и фосфором Удско-Селемжинского района и Шантарских островов на Дальнем Востоке и т. п. Красноцветная разновидность нижней терригенной формации содержит многочисленные проявления медного оруденения типа медистых песчаников в девонских красноцветах Центрального Казахстана.

Собственно рудные месторождения немногочисленны и невелики по запасам. К их числу относятся, в частности, нижеюрские сидеритовые руды Дагестана, которые, по Н. М. Страхову, имеют диагенетическое происхождение. Породы же карбонатной формации, накапливающиеся обычно во второй половине доинверсионного этапа развития геосинклинальной области, включают крупные месторождения бокситов (СУБР).

Вулканогенно-осадочные комплексы пород этого этапа отличаются значительной мощностью и резким преобладанием лав, а также грубой пирокластики, что обуславливает малоблагоприятную обстановку для образования значительных концентраций металлов. Вулканогенно-осадочное рудообразование имело место и на начальном этапе развития геосинклинали, но результатом его явились многочисленные накопления бедных марганцевых и железных руд, которые обычно не имеют промышленного значения. Примером месторождений подобного рода являются упоминавшиеся ранее марганцевые месторождения девонского возраста, развитые в пределах Магнитогорского синклинория на Урале. В отличие от этого вулканогенно-осадочный комплекс пород, образованный в конце первого этапа развития геосинклинали либо в самом начале инверсии, в ряде случаев содержит крупные месторождения. Следует прежде всего упомянуть вулканогенно-осадочный комплекс Джамильинской мульды в Казахстане с подчиненными ему весьма значительными месторождениями марганца, железа и, возможно, свинца и цинка.

На фоне инверсии геотектонического режима в геосинклиналях происходит отложение пород верхней терригенной формации, которая в ряде складчатых областей представлена весьма специфич-

ческой толщей флишевых отложений. С последней обычно не связываются существенные рудные месторождения. Другие разновидности верхней терригенной формации содержат месторождения различных руд. Так, с ней связываются Чиатурское, Лабинское (Северный Кавказ) и Мангышлакское марганцевые месторождения.

Молассовая формация, накопление которой происходит в течение завершающего орогенного этапа развития геосинклинальной области, богата месторождениями. К ней приурочены залежи солей, месторождения медистых песчаников, такие как Удоканское в Читинской области, Джекказганское и другие в западной части Центрального Казахстана. С молассовой формацией связываются также урановые руды, месторождения голубого асбеста, каменного угля и т. п.

Когда в геосинклинальной области идет длительное накопление пород карбонатной формации, протекающее на фоне нескольких этапов развития структуры, с этой формацией могут связываться многочисленные месторождения и рудопоявления, эпохи отложения которых разделены десятками миллионов лет. Сквозная по возрасту карбонатная формация широко развита в Динарских Альпах, где нижние горизонты ее накапливались в триасе, а формирование верхних происходило уже в неогене. С этой формацией связываются бокситовые месторождения западных районов Югославии, приуроченные к восьми (а по некоторым авторам и к десяти) различным стратиграфическим уровням.

### РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ,

#### ОБЩИЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

Рудные месторождения обычно связаны с определенными тектоническими структурами, в частности с основными структурными элементами земной коры — платформами, с одной стороны, и геосинклиналями — с другой. В связи с этим выделяются геосинклинальные и отличные от них платформенные месторождения. Это лишний раз подчеркивает ведущую роль тектонического фактора в осадочном рудообразовании.

Однако для рудных месторождений некоторых типов такой связи не установлено. Их можно встретить в пределах различных структурно-тектонических областей. Так, например, отдельные представители осадочных железорудных формаций и месторождения железных руд, связанные с ними, локализуются в пределах различных структурных зон земной коры. Очень интересна керченская железорудная верхнеплиоценовая формация. Она распространена в пределах северной части Крымско-Кавказской геосинклинали (Керченский полуостров), но в районе Приазовья выходит за пределы геосинклинали и распространяется на южную окраину Русской платформы.

Некоторые сланцевые толщи, зарождааясь в геосинклиналях, также выходят на сопредельные части платформы. Ярким приме-

ром этого являются доманиковые сланцы верхнего девона западного склона Урала. Залегая среди геосинклинальных формаций последнего, они в то же время заходят в пределы восточной части Русской платформы и прослеживаются до районов Поволжья. Напомним также о большом сходстве марганцевых месторождений, расположенных в различных зонах. Так, Никопольское месторождение, расположенное на Украинском щите, одним из наиболее стабильных элементов Русской платформы, чрезвычайно сходно с Чиатурским, находящимся в пределах Дзирульского массива в Крымско-Кавказской геосинклинали, а также с Лабинским рудопроявлением на Северном Кавказе.

Многие авторы подчеркивают близость медистых песчаников Приуралья и западной части Центрального Казахстана, несмотря на то что они сформировались в пределах различных структурно-тектонических элементов. Все это указывает на некоторый «космополитизм» отдельных типов осадочных руд, которые могут быть встречены как на платформах, так и в геосинклиналях.

Если классифицировать осадочные месторождения по особенностям приуроченности их к тем или иным элементам тектонической структуры, то месторождения описанного типа можно назвать полиструктурными, так как они одинаково успешно формируются в геосинклинальных областях и на платформах. Образование их связывается в основном с теми этапами жизни земной коры, при которых в различных зонах создаются примерно одинаковые условия подвижности. Так, в геосинклиналях, особенно в завершающую стадию их развития, в течение отдельных промежутков времени возникают стабильные условия, мало отличные по степени подвижности от платформенных. Они благоприятны для формирования некоторых рудных месторождений платформенного или близкого к нему типа.

Осадочные месторождения, имеющие отчетливую связь с крупными структурно-тектоническими единицами, можно назвать моноструктурными. К обычным платформенным моноструктурным месторождениям относятся остаточные рудные месторождения коры выветривания, месторождения солей и некоторые другие образования. Следует оговорить, однако, что некоторые из месторождений этого типа, например соли, встречаются в специфических структурно-тектонических условиях в межгорных впадинах.

Противопоставление полиструктурных рудных месторождений моноструктурным внутри платформенных областей в настоящее время не может быть проведено с достаточной четкостью. Месторождения, связанные с антеклизмами и синеклизмами и с другими элементами платформы, близки между собой. Это вызвано тем, что большинство месторождений образуется в стабильных условиях и на платформах связывается с различными структурными элементами. Вероятно, только соли приурочиваются к краевым прогибам и другим, глубоко прогнутым элементам платформ, и не могут быть встречены в области щитов.

## ПОНЯТИЕ О РУДНЫХ ЭПОХАХ

В истории земной коры выделяются отдельные этапы, с которыми связываются проявления осадочного оруденения одного или нескольких элементов. Уже давно было подмечено, что многочисленные месторождения меди в СССР и за рубежом приурочены к отложениям пермской системы, а пермский период можно рассматривать в качестве особой эпохи развития процесса накопления осадочных медных руд.

Рудная эпоха представляет собой более или менее длительный промежуток времени, в течение которого на земной поверхности на значительных площадях возникает благоприятное сочетание основных факторов и оптимальных условий рудообразования, приводящее к формированию экзогенных месторождений.

Установился обычай именовать эпохи по возрасту отложений и составу элементов, дающих рудные накопления. Так, часто говорят: палеогеновая марганцеворудная эпоха, пермская меднорудная и т. п. Для месторождений марганца на территории СССР А. Г. Бетехтин (1946) выделил семь металлогенических эпох (и провинций): докембрийскую, кембрийскую, девонскую, нижнекаменноугольную, верхнепермскую, палеогеновую и современную. Н. М. Страхов (1947), обобщивший материал по мировым месторождениям железных руд, выделил начиная с кембрия до настоящего времени ряд отдельных эпох образования гипергенных железорудных месторождений. Он установил также, что эпохи образования марганцевых руд и бокситов в основном близки к железорудным. Автор (Сапожников, 1948) наметил эпохи меденакпления на территории СССР. Были выделены эпохи также и для других полезных ископаемых.

В настоящее время в связи с открытием новых месторождений и с привлечением материала по металлогении ряда регионов, далеко отстоящих друг от друга, выяснилось, что осадочные рудные месторождения во многих случаях выходят за пределы ранее намеченных рудных эпох и в разных областях связываются с различными промежутками геологического времени. Остается открытым вопрос также и о длительности эпох рудообразования.

Имеются основания подразделить рудные эпохи на глобальные и региональные. Первые характеризуются тем, что в течение их накопление руд проявляется на нескольких континентах. Такова, например, пермская меднорудная эпоха, с которой связываются многочисленные месторождения в Европе, Азии и Америке. В отличие от этого намечаются региональные эпохи, когда отложение руд осуществлялось в пределах крупных регионов или лишь на отдельных континентах. К числу таких эпох относится, например, верхнекембрийская — нижнеордовикская, с которой связаны некоторые медепроявления Сибири.

Необходимо разработать критерии, позволяющие обоснованно устанавливать эпохи рудообразования. В частности, следует

разобрать вопрос о том, какое количество рудных проявлений и месторождений должно приходиться на определенный промежуток времени, чтобы были основания для выделения соответствующей эпохи. По-видимому, одного небольшого месторождения недостаточно для этого. Так, открытие Улутелякского марганцевого месторождения, связанного с породами кунгурского яруса в Приуралье и не имеющего возрастных аналогов в других местах, не позволяет выделять особую пермскую (или кунгурскую) эпоху марганцевого рудообразования. В этом случае, так же как и во многих других подобных, может идти речь лишь о стратиграфической приуроченности месторождения. При работах по прогнозу другие объекты в соседних областях следует искать в этом же стратиграфическом интервале.

Поскольку основные условия рудообразования близки, а иногда и общие для различных полезных ископаемых, в природе часто встречаются одновременные или близкие по возрасту месторождения двух, нескольких, а иногда и целого комплекса полезных ископаемых, сформированные за время одной рудной эпохи на ограниченной территории.

Напомним, что среди палеогеновых отложений восточного склона Урала распространены марганцевые руды и фосфориты, которые на одном из месторождений (Марсятском) залегают в виде двух соседних пластов. В третичных отложениях этой же области известны железные руды, залежи лигнита, россыпи титановых минералов.

Платформенные бокситы и связанные с ними полезные ископаемые являются еще одним ярким примером образования различных полезных ископаемых за время одной эпохи. Они могут переходить в зоне ближнего выклинивания (Горецкий, 1958) в железистые образования и глины каолинитового состава, а в зоне дальнего выклинивания ассоциируют с углями. Последние иногда обогащены редкими элементами. К одному ограниченному региону приурочены различные полезные ископаемые, образовавшиеся одновременно. В этом случае рудная эпоха охватывает, как правило, такой промежуток геологического времени, в течение которого обычно происходит перемещение огромных масс минеральных веществ и связанные с ним обособление, мобилизация и накопление различных элементов. Поиски новых месторождений следует вести в первую очередь среди пород, отложившихся за время, соответствующее рудным эпохам.

Одной из первоочередных задач, стоящих перед геологами при работах по прогнозу, является выделение перспективных формаций осадочных пород, отложившихся за время, соответствующее отдельным рудным эпохам или стратиграфическим интервалам, к которым приурочены оруденение в пределах региона или соседних с ним территорий. Толщи пород, не охарактеризованные по рудоносности, но соответствующие по времени образования породам с рудными концентрациями, развитыми в отдаленных районах СССР или в других странах, также представляют значительный интерес. Эти толщи должны быть детально изучены с целью выявления перспектив постановки поисковых работ.

## ПРИУРОЧЕННОСТЬ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ К ОСНОВНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Нами были рассмотрены некоторые особенности локализации месторождений в пространстве, которые определяются расстоянием от области сноса и положением по отношению к берегу водоема. В настоящем разделе предпринята попытка определить приуроченность рудных месторождений к тем или иным частям стратиграфического разреза осадочной толщи.

Достаточно четко выраженная рудная эпоха обычно проявляется в геологическом разрезе поверхностью размыва и следами выветривания более древних пород, на которых залегают осадочные серии, отложившиеся за время рудной эпохи; среди них также залегают осадочные рудные концентрации. Иногда в разрезах отдельных районов рудная эпоха выражается только накоплением осадков и руд, причем размыв и перерыв в отложении не устанавливаются. Это наблюдается в случае выделения полезного компонента из морской воды. Если рудный материал приносился издалека, размыв в пределах района часто не фиксируется, однако он может быть обнаружен на соответствующем стратиграфическом уровне в смежных областях. Зачастую на наличие определенной рудной эпохи указывает тип формации, с которым обычно связывается оруденение. Так, рудовмещающая формация красноцветных образований во многих случаях содержит месторождения меди, следовательно, в данном случае определенный тип пород и руд накапливается в пределах одного временного интервала. Джеспилитовая рудная формация в целом отлагается в пределах интервала, соответствующего железорудной эпохе.

В случае формирования в данную эпоху лишь остаточных месторождений без накопления значительной серии осадков, рудная эпоха выражается в разрезе поверхностью размыва и признаками выветривания пород, расположенных ниже нее. Рудные месторождения сосредоточены в толще материнских пород, измененных выветриванием.

При выделении толщи осадочных пород, несущих оруденение и перспективных для поисков месторождений, обычно встречаются три основных случая, зависящих от тектонического режима района в течение рудной эпохи.

*Первый случай. Рудная эпоха связана с трансгрессией.* Нижняя граница комплекса пород, несущих оруденение, выявляется достаточно четко: она совпадает с поверхностью размыва, устанавливаемой в разрезе. Остаточное оруденение, связанное с выветриванием данной эпохи, может быть моложе процесса размыва, однако в разрезе оно лежит всегда ниже поверхностей размыва и несогласия, непосредственно под основанием лежащей выше осадочной толщи. Преобладающая часть месторождений локализована в нижних горизонтах последней и залегают непосредственно на древних образованиях или отделяется от них маломощным прослоем глав-

ным образом обломочных пород. Рудные месторождения обычно представлены россыпями, переотложенными рудами, главным образом алюминия (бокситы), фосфоритовыми галечниками и конгломератами. С нижней частью разреза связываются первичноосадочные месторождения железа, марганца и алюминия, некоторые типы месторождений углей, несущих редкометалльное оруденение, и т. п. Это, как правило, континентальные рудные образования, приуроченные ко второй рудной зоне, или, в случае трансгрессивной серии, прибрежные морские отложения, относящиеся к третьей зоне.

По мере продвижения вверх по разрезу пород перспективной формации оруденение встречается реже и характер его меняется. Здесь начинают преобладать месторождения, типичные для третьей зоны, образовавшиеся в условиях морского водоема. Это месторождения оолитовых железных руд, марганцевых руд, желваковые и пластовые фосфориты, горючие сланцы с редкометалльным оруденением и т. п.

Толща пород, соответствующая рудной эпохе, развивающейся в условиях трансгрессии, зачастую имеет весьма нечеткую верхнюю границу. Для установления ее можно иногда руководствоваться изменениями в составе пород, указывающими на то, что процесс трансгрессии закончился. С другой стороны, исчезновение из разреза рудных проявлений обычно дает основание для проведения верхней границы отложений, соответствующих данной рудной эпохе.

Намеченная схема распределения месторождений в пределах формации не может быть прослежена в единичном разрезе, а иногда даже и в нескольких соседних разрезах. Она выявляется лишь при изучении оруденения, связанного с рудной эпохой, на большой площади.

В ходе трансгрессии неизбежно некоторое смещение оруденения во времени и в пространстве. Рудные залежи, располагающиеся ближе к источнику рудного компонента, связываются с более молодыми членами разреза. Это и понятно, если учесть, что при трансгрессии оруденение следует за постепенным смещением зон седиментации и рудообразования в направлении от третьей зоны к первой. В результате размеры второй, а затем и первой зон будут последовательно сокращаться и, наконец, весь регион представит собой огромную область распространения условий, господствующих в третьей зоне, т. е. морской водоем. В то же время снижается интенсивность рудного процесса, поскольку в эпоху максимального развития трансгрессии области питания имеют наименьшую площадь или даже полностью перекрыты морем. На этом этапе рудообразование возможно в основном за счет выделения полезных компонентов из морской воды или в результате вулканогенно-осадочного процесса.

С трансгрессиями связываются различные осадочные месторождения. Уже давно Л. Кайе (Cayeux, 1897, 1905) отмечал связь отложений фосфоритов с морскими трансгрессиями. Месторождения железных руд и бокситов часто связываются с перерывами в раз-

резах, причем эти ископаемые, так же как и фосфориты, иногда приурочены к самым основаниям трансгрессивных серий.

Распределение железных руд и бокситов в стратиграфическом разрезе рассматривалось А. Д. Архангельским (1937), Ю. К. Горечким (1958, 1960), Б. П. Кротовым (1949), Н. М. Страховым (1947) и другими авторами. В частности, по мнению Б. П. Кротова, полная серия месторождений железных руд в геологическом разрезе состоит из накоплений четырех генетических типов, перекрывающих друг друга в следующей последовательности: 1) кора выветривания, или месторождения коры выветривания; 2) обломочные (валунчатые) месторождения; 3) озерные месторождения; 4) прибрежно-морские месторождения. Предложенная нами последовательность локализации месторождений в разрезе включает основные элементы схемы Б. П. Кротова.

При анализе стратиграфического разреза в прогнозных целях особое внимание должно быть уделено трансгрессивным комплексам отложений и особенно нижним частям их, с которыми связывается преобладающая часть месторождений.

*Второй случай. Рудная эпоха связана с регрессией.* Эта эпоха благоприятна для формирования некоторых специфических полезных ископаемых. При поднятии земной коры происходит смещение основных зон седиментации и рудообразования. Расширяется площадь первой зоны, причем все более активизируются процессы размыва. Это приводит к образованию переотложенных месторождений, формирующихся главным образом во второй зоне. Области, занятые морскими бассейнами, постепенно осушаются, что обуславливает сокращение третьей зоны и возможное полное исчезновение ее в пределах региона. В результате через некоторое время весь регион может быть занят континентальными отложениями второй рудной зоны. Причем остаточные образования, как правило, не формируются. Этому препятствуют постоянные положительные вертикальные движения. Создается ситуация, мало благоприятная для образования месторождений полезных ископаемых многих типов. Тем не менее с регрессиями связаны характерные осадочные месторождения, образующиеся в области понижений на суше или в морских водоемах, зачастую имеющих реликтовый характер, например в солеродных бассейнах.

Именно с этими эпохами связано образование солеродных бассейнов, например Приуральского, с огромными запасами солей различного состава. К ним же приурочиваются концентрации редких и рассеянных элементов. В течение этих эпох отлагались породы, которые затем становились исходным материалом при формировании месторождений самородной серы, образовано большинство месторождений медистых песчаников, приуроченных к красноцветной формации, а также урана и ванадия, связанных с терригенными породами регрессивных серий.

Поэтому при прогнозе необходимо уделять большое внимание регрессивным комплексам, которые соответствуют рудным эпохам.

Верхние границы таких комплексов определяются достаточно четко. Они обычно совпадают с границами регрессивных серий осадков, на которых часто с размывом залегают толщи более молодых пород. Нижние границы в большинстве случаев должны проводиться условно. Лучшим критерием для проведения нижней границы перспективной формации в конкретном случае служит появление признаков оруденения в разрезе.

В качестве примера рудной эпохи, развивающейся на фоне регрессии, можно сослаться на пермскую рудную эпоху Русской платформы и других регионов с месторождениями солей и др.

*Третий случай. Рудная эпоха не связана с ясно выраженными движениями земной коры определенного знака.* Продуктивный комплекс не отделяется четкими границами ни сверху, ни снизу. Выделить его можно по обогащению металлом пород стратиграфического разреза. Появление отложений, обогащенных рудным компонентом, может быть условно связано с началом рудной эпохи. Конец ее выражается исчезновением руд в разрезах. В этом случае металл может поступать при садке из морской воды или за счет выноса при вулканогенно-осадочном процессе или из рудных расолов. В заключение следует остановиться на той роли, которую играют перерывы в осадкообразовании и несогласия, в том числе угловые, при проведении границ рудных формаций и рудных эпох. Не следует каждую поверхность размыва и перерыв в отложении осадков рассматривать как начало или конец рудной эпохи. В самом деле, в истории развития региона могли происходить поднятия, в результате которых он превращался в область суши. Однако процессы выветривания на ней могли проявиться слабо и не обусловить глубоких изменений материнских пород и выноса из них рудных элементов. Известны также случаи, когда процессы выветривания интенсивно проявляются на суше, но материнские породы (по составу) не могут служить источником рудных компонентов.

Тем не менее размывы в осадочных толщах и перерывы в осадконакоплении должны быть внимательно изучены. Значительную роль в продуктивности осадконакоплений играет длительность перерыва. Мелкие внутрiformационные размывы обычно не сопровождаются выпадением из разреза мощного комплекса отложений. Они обусловлены незначительными вертикальными движениями земной коры, едва приподнимающими осадочные отложения над уровнем моря. В других случаях они лишь выводят дно бассейна в зону активного воздействия волн и обуславливают донный размыв в самом водоеме. Понятно, что перерыв, связанный с такими движениями, обычно не может служить указанием на наличие рудоносных отложений, приуроченных к нему. Тем более он не знаменует границы рудной эпохи, хотя известны отдельные концентрации переотложенных фосфоритов и других полезных ископаемых, образовавшихся именно в таких условиях.

Возможны также внутрiformационные перерывы, не связанные с движениями земной коры и обусловленные размывом отложений

в результате временного изменения климата или даже вследствие катастрофических ливней. Они также не могут рассматриваться как указание на начало и конец рудной эпохи. Между тем западины, русла и другие неровности, иногда наблюдаемые на погребенных поверхностях в толще пород, могли служить каналами для пластовых вод, участвовавших в катагенетическом образовании минералов и рудных образований.

Длительный перерыв в осадконакоплении, выражающийся четкой поверхностью размыва и выпадением из разреза мощного комплекса пород, обычно представляет значительный интерес, который особенно возрастает, если на поверхности размыва наблюдаются следы химического выветривания. Значение крупного перерыва объясняется тем, что длительный размыв вскрывает мощную серию пород, среди которых возможны образования, являющиеся источником рудного компонента. Кроме того, за время длительного континентального периода материнские породы обычно глубоко прорабатываются химическим выветриванием, причем иногда оно повторяется неоднократно. Тем самым создаются благоприятные условия для образования остаточных месторождений, с одной стороны, и выноса легко мигрирующих рудных элементов — с другой. При большей длительности перерыва возрастает вероятность возникновения условий, благоприятных для развития седиментационных месторождений.

Перерыв, сопровождающийся крупным угловым несогласием, обычно формируется в течение длительного времени и может свидетельствовать об обнажении на земной поверхности и размыве многочисленных серий пород различного состава. Следует подчеркнуть, однако, что геосинклиналильные бокситы связываются обычно с кратковременным перерывом в отложении карбонатных формаций. Но он все же достаточен для того, чтобы мобилизовать рудное вещество и обусловить интенсивные карстовые явления в толще карбонатных пород в подошве бокситового пласта.

## РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

Рудные месторождения различных типов обычно связаны с комплексами пород, выделяемых в качестве геологических формаций. Оруденение можно встретить среди пород большинства осадочных формаций. По характеру распределения и по соотношению рудных концентраций и другого седиментационного материала осадочные формации могут быть разделены на две группы: рудные и рудовмещающие.

Рудные формации — это крупные парагенетические ассоциации пород, обогащенные металлом и содержащие промышленные концентрации его. Они распространены в пределах значительных участков земной коры и возникают в специфической структурно-тектонической обстановке в течение более или менее длительного времени накопления металла в экзогенных условиях. Подобные ассоци-

ации пород в основном равнозначны осадочным геологическим формациям. Ассоциации, как правило, включают породы, обогащенные наиболее распространенными макроэлементами, железом, алюминием и некоторыми другими, которые вследствие высокого кларка или других геохимических особенностей способны обогащать или слагать целые комплексы пород. Широко известны железорудные формации, сложенные различными породами, обогащенными железом и содержащие залежи руд этого элемента. К числу их относится джеспилитовая формация, распространенная в составе пород нижнего структурного яруса древних платформ и относящаяся в основном к докембрию. Среди более молодых образований также имеются крупные комплексы пород, обогащенных металлом и распространенных на огромных площадях. Например, колпашовская железорудная формация, связанная с верхнемеловыми отложениями Западной Сибири и прослеживающаяся на площади во многие десятки тысяч квадратных километров. Значительно меньшую совокупность железосодержащих пород и железорудных месторождений включает керченская железорудная формация киммерийского яруса, распространенная на площади Таманского и Керченского полуостровов и Северного Приазовья.

Совокупность различных пород, обогащенных глиноземом и включающих залежи бокситов, также может рассматриваться в качестве рудной формации. Помимо самих бокситов к ней относятся огнеупорные и другие глины, содержащие повышенное количество глинозема, некоторые железистые образования, также богатые глиноземом, и др.

В отличие от рудных выделяются рудовмещающие формации. К ним относятся крупные ассоциации пород, парагенетически связанные между собой, включающие отдельные пласты, залежи или горизонты, обогащенные металлом, и промышленные концентрации его. В качестве примера можно сослаться на красноцветную формацию. Она сложена обломочными породами — конгломератами, песчаниками и алевролитами, обычно чередующимися между собой и включающими прослойки глин и некоторых других осадочных отложений. Медное оруденение, связанное с этими породами, часто достигает значительной интенсивности, причем образуются месторождения медистых песчаников. Рудная минерализация и залежи медных руд приурочены только к отдельным горизонтам в составе многометровой толщи кластических пород, не несущих признаков обогащения этим металлом и как бы лишь вмещающих оруденение. Даже в богатых рудах содержание меди не превышает первых процентов. Н. С. Шатский (1954, стр. 3), поставивший впервые вопрос об осадочных формациях, считает, что «минеральные концентрации в формациях также парагенетически связаны с вмещающими породами, как и эти последние между собой. Минеральные концентрации, следовательно, являются также членами этих парагенезов, но членами не постоянными, более редкими». Он полагает далее, что «минеральные концентрации распределяются в земной

коре закономерно в зависимости от типа формации и, стало быть, в определенных тектонических условиях».

Марганцевоносные и фосфоритоносные формации Н. С. Шатского являются, по сути дела, рудовмещающими. К числу последних относятся также все осадочные комплексы, включающие месторождения руд микроэлементов и преобладающую часть рудных концентраций макроэлементов. Рудовмещающие формации внешне мало отличаются от обычных осадочных геологических формаций, поскольку те и другие слагаются породами одного состава. Они могут иметь одинаковую мощность, отлагаться в одинаковых структурно-тектонических зонах и т. п. Главное отличие состоит в том, что рудоносные формации содержат отдельные пласты и горизонты, обогащенные рудными элементами, и включают промышленные рудные залежи. Однако роль рудных концентраций среди других пород настолько ничтожна, что они не налагают сколько-нибудь заметного отпечатка на формацию в целом и даже на породы, обогащенные металлом. В качестве примера назовем каменный уголь, богатый ураном или германием.

Породы рудной формации отличаются одной важной особенностью — все они обогащены полезным компонентом. Поэтому обнаружение их само по себе служит указанием на то, что в геологической истории региона имел место отрезок времени, в течение которого могли сформироваться месторождения. Задача сводится к тому, чтобы внутри формации найти промышленные концентрации рудного элемента. При этом следует считаться с изменчивостью фаций внутри самой формации, с некоторыми другими особенностями строения ее, с расположением источника питания в момент отложения пород, входящих в состав формации, и т. п.

Иначе обстоит дело при изучении формации другого типа. Здесь прежде всего следует направить главные усилия на то, чтобы установить, перспективны ли породы для поисков. Необходимо установить действительно ли это та формация, с которой связывается оруденение, или это «пустая» безрудная геологическая формация, не заслуживающая внимания. Только после выяснения, что рудовмещающая формация перспективна, решается вопрос о поисках рудных концентраций в слагающем ее комплексе пород. При этом следует учитывать те же особенности, что и в случае формации рудной.

### ЛОКАЛИЗАЦИЯ КАТАГЕНЕТИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Рудные концентрации, образующиеся в катагенетическую стадию, характеризуются специфическими особенностями локализации, которые зависят от условий формирования залежи. Последняя может образоваться: 1) за счет перераспределения рудных концентраций, первично обогативших породу; 2) в результате отложения металла в приповерхностной зоне вследствие изменившихся окислительно-восстановительных условий в толще пород, с образованием

эпигенетической зональности. В первом случае особенности размещения рудных концентраций определяются по крайней мере двумя различными процессами: а) первичным рудообразованием или первичным обогащением пород тем или иным компонентом и б) вторичным перераспределением его в толще осадочных образований. Во втором случае, когда рудные концентрации связаны с эпигенетической зональностью, необходимо поступление поверхностных или грунтовых вод, содержащих металл. Кроме того, породы, по которым происходит фильтрация, должны содержать органическое вещество, обуславливающее возникновение восстановительной обстановки на некоторой глубине от поверхности.

Если катагенетические рудные залежи располагаются вблизи области распространения пород, первично обогащенных полезным компонентом, то рудные концентрации могли быть сформированы за счет выщелачивания и переотложения металла грунтовыми водами. Такие примеры известны на многих угольных месторождениях. В частности, на некоторых месторождениях Венгрии имеет место обогащение угольных пластов ураном, поступающим в составе подземных вод из гранитных массивов, расположенных неподалеку (Salai, 1954). Подобным же образом в районе плато Колорадо на одном участке уран выщелачивается подземными водами из толщи третичных эффузивов и вносится в пачку углей, расположенных ниже по разрезу. В углях наблюдается повышенное содержание металла, образовавшегося, по-видимому, в результате сорбции урана органическим веществом. Эти данные находятся в соответствии с наблюдениями над современными торфяниками, в которых часто устанавливаются повышенные содержания урана. Известны случаи, когда осадочные породы угленосных серий интенсивно обогащены молибденом, германием и другими элементами. Необходимо учитывать, что слои осадочных пород, богатых активными компонентами, всегда представляют значительный интерес, поскольку с ними могут связываться эпигенетические накопления подвижных химических элементов. Рудные залежи образуются при этом вне зависимости от фациальных условий, господствовавших в момент отложения вмещающих пород. При возникновении катагенетических руд главную роль играют геологические особенности строения осадочных толщ и палеогидрогеологические условия, в результате которых происходил подток пластовых вод, обогащенных металлом, к породам, содержащим активные компоненты. За пределами месторождений рудоносные породы этого типа внешне чаще всего неотличимы от безрудных.

Оптимальные условия для формирования роллов создаются при сочетании различных геоморфологических, структурно-тектонических, гидрогеологических и других факторов. В качестве одного из сочетаний укажем такое, когда область питания подземных вод располагается несколько выше прилегающей территории. В пределах возвышенности должны быть выходы пластов осадочных пород, обогащенных органическим веществом и способных фильтро-

вать воду, уходящих на глубину. Подобные соотношения создаются в пределах территорий, сложенных слоями, залегающими наклонно и располагающимися в области моноклиналей или в пределах крыльев размытых антиклинальных складок. Рудные тела выдерживаются по простиранию слоев и уходят на ограниченную глубину по падению.

Признаком, указывающим на возможность обнаружения роллов, является наличие четко выраженной зоны окисления в пластах пород, несущих следы первичного обогащения органическим веществом. К числу их относятся: разрушенные остатки растений, минеральные новообразования по растительной ткани, отдельные участки пород, сохранившие повышенное содержание органического вещества, вторичное ожелезнение пород и др.

Роллы встречаются на границе между зоной окисления и более глубоко расположенной зоной пород, сохранивших значительное содержание органики, что обуславливает возможность возникновения в пластах восстановительных условий. Накопление урана, селена, молибдена возможно, во-первых, при наличии заметных содержаний этих элементов в фильтрующихся водах. Во-вторых, упомянутые рудные элементы могут быть первично рассеяны в породе. В этом случае они будут мобилизованы в окисленной части пласта, переведены в растворимое состояние и переотложены на границе с зоной, характеризующейся восстановительными условиями, и дадут промышленные концентрации.

Уже упоминалось, что происхождение роллов связано с эпигенетической геохимической зональностью, причем картирование отдельных зон может быть использовано для поисков этих рудных тел. На карте они обычно тяготеют к границе между зоной пластового окисления и зоной неизменных пород, содержащих органическое вещество.

Локализация другой разновидности катагенетических руд определяется приуроченностью их к пластам пород, обогащенных активным компонентом, чаще всего органическим веществом. Помимо этого породы должны обладать хотя бы невысоким первичным содержанием рудного вещества и иметь достаточную пористость для активной циркуляции подземных вод. При рассмотрении особенностей тектонического контроля катагенетического оруденения возникают значительные сложности, хотя оно в ряде случаев контролируется элементами складчатой структуры и разрывными нарушениями региона. Уже упоминалось, что месторождения медистых песчаников северо-западной части Центрального Казахстана и других районов приурочиваются к крыльям и особенно к периклинальным частям небольших размытых антиклинальных структур. Наукатское месторождение медистых песчаников также связывается с периклинальной частью размытой антиклинали хр. Супетау, а Джекказганское медное месторождение, которое мы рассматриваем как осадочно-катагенетическое, приурочено в основном к периклинальной части Кенгирской антиклинали.

Иногда в медных месторождениях, связанных с древними осадочными породами, таких как Удоканское и другие, оруденение локализуется и в пределах синклинальных структур. Уцелевшая часть Удоканского месторождения связывается с крупной синклинальной складкой. Этот факт не противоречит тому, что наиболее интенсивное оруденение связывается с антиклинальными структурами и что здесь в первую очередь нужно начинать поисковые работы. Синклинали следует охватить поисковыми работами во вторую очередь.

Катагенетическое оруденение зачастую связывается с разрывными тектоническими нарушениями небольшой амплитуды. Можно сослаться на увеличение интенсивности оруденения, наблюдавшееся в центральной части западного участка Караджальского месторождения, о чем подробнее говорилось во второй главе. Месторождения медистых песчаников, пространственно приуроченные к разрывным дислокациям, известны в северо-западной части Центрального Казахстана (Сапожников и Златогурская, 1953).

Переотложение рудного вещества и образование рудных концентраций происходит не только в катагенетическую стадию, но и в ходе процессов диагенеза. Диагенетические рудные тела тесно связаны с первичными осадочными отложениями и не выходят за пределы пластов последних. Они образуются в ходе процессов, следующих непосредственно за отложением осадков. В связи с этим очень трудно установить геологические критерии, позволяющие наметить особенности локализации, свойственные диагенетическим рудам.

## ГЛАВА V

### ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Прогноз осадочных месторождений основывается на совершенно иных геологических и металлогенических предпосылках, чем те, которые используются для прогноза магматогенных полезных ископаемых. Необходим особый подход к проблеме прогноза осадочных месторождений, основанный на учете палеогеографических, климатических, структурно-тектонических и других данных. Прежде всего должны быть выяснены следующие основные данные: 1) характер источника полезного компонента и геохимические особенности области питания; 2) особенности тектонического режима региона и его палеорельеф; 3) палеоклимат эпохи рудообразования. Следует иметь в виду особенности геологических процессов, протекающих в течение стадий первичного отложения, диагенеза осадка и катагенетических изменений осадочных образований. Часть этих условий определяет характер первичного обогащения осадков теми или иными полезными компонентами, т. е. характер рудной фор-

мации; другая же — контролирует возможное перераспределение концентраций металла после первичного осаждения.

Из второстепенных, но также весьма важных условий рудообразования упомянем лишь характер среды переноса, особенности среды осаждения рудных концентраций в зоне седиментации, наличие активных компонентов в осадках, структурные и литологические особенности вмещающих толщ, определяющие характер перераспределения, и т. п. Не только все они вместе, но и каждая из них в отдельности способны оказать существенное влияние на рудный процесс, направить его в то или иное русло или полностью прервать.

Существующие генетические представления наряду с обширным геологическим материалом, накопленным по ряду районов СССР, позволяют сделать попытку разработать некоторые общие принципы, которые могли бы быть использованы при прогнозе месторождений осадочных руд различных элементов. Этими принципами можно руководствоваться при прогнозировании новых рудных районов, перспективных для поисков широкого круга полезных ископаемых, а также ограниченных площадей, выдвигаемых для поисков месторождений какого-либо одного рудного элемента или группы их.

До последнего времени при прогнозах месторождений осадочных руд имелось в виду преимущественно первичное сингенетическое обогащение осадков рудным компонентом. Руда рассматривалась как минеральное тело, полностью или почти полностью образовавшееся первично и не подвергавшееся каким-либо вторичным процессам, приводящим к перегруппировке рудного компонента и образованию новых рудных залежей. В связи с этим главной основой для прогнозирования являлась палеогеографическая или литолого-фациальная карта.

В настоящее время работы по прогнозированию должны вестись с учетом всех особенностей геологического развития региона, а также стадийности осадочного и остаточного рудообразования. В свете новых требований палеогеографическая основа оказывается несколько ограниченной и не вмещает всех данных, на которых базируются работы по прогнозу. Также недостаточной является литолого-фациальная карта, на которой не отражаются особенности области сноса, основные элементы тектонической структуры, факторы, обуславливающие катагенетическое рудообразование, и многие другие специфические черты, без учета которых невозможно прогнозирование.

## ГРАНИЦЫ РЕГИОНА И ЕГО РАСЧЛЕНЕНИЕ

Работа по прогнозированию должна начинаться с определения границ региона, для которого намечено дать прогноз. Территория его может быть различной в зависимости от особенностей геологического строения и от степени детальности работ. Необходимо,

однако, чтобы она включала основные зоны рудообразования или хотя бы часть их: например, территорию развития коры выветривания в пределах первой зоны, а также площади распространения континентальных или морских руд (второй и третьей зон или их обеих). Так, если прогноз ведется для территории Московской синеклизы, расположенной в области седиментации, то карта прогноза или «рабочая основа» такой карты должна включать прилегающие части возможных областей сноса, в частности Балтийского щита, Тиманской и Воронежской антеклиз.

В общем случае для прогноза осадочных месторождений прежде всего необходимо уяснить, какие дополнительные территории желательно рассмотреть, чтобы анализировать интересующую площадь на фоне достаточно крупной геолого-тектонической единицы, в пределах которой можно наметить основные зоны. История развития этой единицы позволяет вскрыть взаимосвязь процессов выветривания материнских пород с формированием осадочных комплексов. Только в свете рассмотрения истории такой области можно выявить, наметить или предугадать закономерности, в результате которых локализуется то или иное полезное ископаемое.

Вся территория региона должна быть подразделена на ряд более мелких площадей, которые естественно выделяются в его пределах. В основу разделения удобнее всего положить структурно-тектонический принцип. Это особенно целесообразно в связи с тем, что месторождения большинства полезных ископаемых обнаруживают отчетливую приуроченность к определенным типам тектонических структур. В пределах региона необходимо выделить территории, занимаемые щитами, и площади, приходящиеся на плиты. Затем следует наметить структуры более мелкого порядка. При крупномасштабном прогнозировании необходимо выделять: на платформах — щиты, антеклизы, валы, купола, разрывные нарушения, флексуры или отдельные части этих структур; в геосинклинальных и складчатых областях — синклинории и антиклинории и их элементы, вплоть до отдельных простых складок, а также основные виды разрывных нарушений, распространенных в регионе.

В результате такого расчленения региона обозначатся области, благоприятные для формирования месторождения того или иного полезного ископаемого или группы полезных ископаемых. Например, могут быть выделены положительные структуры — щиты и антеклизы, к которым обычно приурочиваются остаточные месторождения. В качестве другого примера упомянем краевые прогибы, благоприятные для накопления солей.

Для остаточных месторождений и некоторых месторождений осадочного генезиса, связанных с континентальными образованиями, особое значение приобретает геоморфологический фактор. В этом случае необходимо уделить особое внимание древним поверхностям выравнивания, долинам древних и современных водных артерий, речным и морским террасам, карстовым и другим формам рельефа. При этом выделение района для проведения прогнозных

и поисковых работ в пределах как платформенной, так и складчатой области должно проводиться с учетом основных элементов геоморфологии.

## ВЫДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПОРОД И ФОРМАЦИЙ

Следующий этап заключается в выделении основных комплексов, под которыми мы понимаем толщи, связанные между собой сходным происхождением, но образовавшиеся за счет материала, поступившего из различных источников; например, вулканогенно-осадочный комплекс или элювиально-осадочный комплекс, включающий кору выветривания и продукты ее переотложения.

Для каждого комплекса можно наметить общие закономерности седиментации и рудообразования и обобщить их на одной карте для прогнозных построений. Комплексы выделяют на основе анализа разрезов, руководствуясь геолого-литологическими данными о месторождениях полезных ископаемых, приуроченных к толщам пород разного типа.

Так, при прогнозе бокситов следует выделять в платформенных областях элювиально-осадочные комплексы. При прогнозе месторождений медистых песчаников необходимо выделять формацию красноцветных образований; при прогнозе силикатных никелевых руд — формацию коры выветривания и т. п. При этом приходится учитывать и технические условия составления карт прогнозов, не всегда позволяющие совмещать на одной карте данные, относящиеся ко многим геологическим эпохам. Крупные комплексы могут соответствовать одной, а иногда и нескольким рудным эпохам. Наиболее благоприятные технические условия создаются в том случае, если комплекс соответствует одной рудной эпохе. Нельзя забывать, что дробное расчленение осадочной толщи на мелкие комплексы приводит к необходимости составления большего числа карт, что нежелательно. Удобнее совмещать на одной карте материал, относящийся к возможно более длительному отрезку геологического времени, охватывающему иногда две и более рудные эпохи. Это технически вполне доступно, так как часто, как это показал Н. М. Страхов, распределение суши и моря в пределах отдельных крупных регионов за время основных тектонических этапов имеет много общего, т. е. области поднятий и погружений в общих чертах сохраняются в течение длительных промежутков геологического времени.

При составлении карты прогнозов, например для части территории Московской области и сопредельных площадей, можно поступить следующим образом. Предположим, что породы верхнего девона и более древние отложения залегают настолько глубоко, что для них составление прогнозных карт неактуально. В таком случае здесь можно выделить два комплекса: верхнепалеозойский, включающий отложения нижнего, среднего и верхнего карбона, и

мезозойский, к которому относятся отложения от келловейского яруса верхней юры до верхнего мела включительно. Объединение материала по этим двум комплексам на одной карте неудобно, так-как приведет к чрезвычайно сильной перегрузке ее. Для каждого из них следует составить свою карту прогноза.

В составе комплексов должны быть выделены и учтены основные формации и, кроме того, фациальные типы пород, с которыми обычно ассоциируют месторождения полезных ископаемых. Например, кремнистые образования, с которыми связаны месторождения марганца; глауконитовые породы, с которыми ассоциируют фосфориты; гипсы, чередующиеся с пластами карбонатных пород, чрезвычайно благоприятные для формирования месторождений самородной серы, а также другие породы или сочетания их.

Важное значение имеет учет стратиграфического контроля оруденения, а также выделение трансгрессивной и регрессивной серий пород, входящих в состав формации, и т. п. Тем самым может быть получен материал для того, чтобы наметить круг месторождений, которые могут быть связаны с определенными типами осадочных отложений, развитых в регионе.

Следует также, по возможности, учесть текстурные и структурные особенности пород, наличие перерывов в осадочной толще и т. п.

#### **УЧЕТ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

Для прогнозирования остаточных и осадочных месторождений необходимо знать, к какой климатической зоне относилась данная область: к полярной, умеренного климата, жаркой влажной, жаркой сухой и т. п. В настоящее время имеется много хороших палеоклиматических реконструкций: А. Н. Криштофовича, Н. М. Страхова (1960), Л. Б. Рухина и многих других исследователей. Климатические зоны достаточно обоснованно выделены для кайнозоя и мезозоя. Менее уверенно устанавливаются они для отдельных, преимущественно древних периодов палеозойской эры. С другой стороны, установлены климатические условия, в которых происходит формирование главнейших фациальных типов осадков и различных полезных ископаемых. Известен круг месторождений, образующихся в условиях влажной (гумидной) и засушливой (аридной) климатических зон. Особенно детальное рассмотрение роли климатических условий в развитии геологических процессов дается в трудах Н. М. Страхова (1960). В них приводятся подробные палеоклиматические реконструкции для ряда эпох. Кроме того, Н. М. Страхов дает тщательно аргументированные климатические характеристики условий образования месторождений различных полезных ископаемых осадочного генезиса.

Исследования в этой области расширяются и углубляются, причем выяснилась возможность накопления тех или иных полезных ископаемых в зависимости от температуры воздуха и среднегодового количества выпадающих осадков.

Б. П. Кротов (1959) занимался выявлением закономерностей распределения месторождений железа и алюминия в зависимости от климата (и от тектоники) в Уральской геосинклинальной системе. Проведены многочисленные исследования и по другим регионам. В последние годы появились работы В. М. Синицына, содержащие ценные палеоклиматические реконструкции для территории СССР и сопредельных стран.

При работах по прогнозу следует определить, к какой древней климатической зоне относится регион. Для этого можно воспользоваться существующими реконструкциями, уточнив на основании дополнительного материала по району особенности его микроклимата в течение рудной эпохи. Восстановление климатических условий проводится на основании фактических данных, которые можно наблюдать в разрезе осадочных отложений. При этом большое значение имеет состав фауны и флоры, встреченной в отложениях данного возраста. Так, наличие остатков теплолюбивых животных и растений указывает на субтропические и тропические условия, существовавшие в данной области в период жизни этих организмов.

Весьма велика также роль отдельных литологических типов пород, которые принимают участие в строении данного седиментационного комплекса, представляющего интерес для прогноза. Наличие солей в составе той или иной толщи издавна рассматривается как указание на сухой климат, господствовавший в эпоху ее формирования. С другой стороны, наличие углей железных руд, бокситов, некоторых других руд и пород указывает на осадкообразование, происходившее в условиях влажного теплого климата.

Практически прогнозные карты (не считая мелкомасштабных — обзорных) составляются всегда для территорий, вполне уместных в пределах одной или двух смежных климатических зон, что объясняется большой шириной последних.

Если в пределах региона в течение рудной эпохи имела место вертикальная климатическая зональность, то в этом случае желательно произвести подробную реконструкцию смены палеоклимата времени отложения. Важную роль для прогнозирования играет то обстоятельство, что климаты прошлого отличались известной устойчивостью, оставаясь более или менее постоянными на больших площадях в течение целого периода, а иногда и большего отрезка времени. В ряде случаев намечается постепенное и закономерное изменение климата, что позволит использовать палеоклиматические реконструкции только для начала и конца эпохи изменения климата. Что касается промежуточных веков, то климатические условия их укладываются в рамки, намеченные реконструкциями на начало и конец эпохи.

Если удалось установить, к какой климатической зоне относился регион в момент отложения осадков интересующего нас седиментационного комплекса, то можно сделать заключение о том, какие полезные ископаемые будут, вероятно, с ним связаны.

Среди осадков, отложившихся в условиях влажного климата, можно встретить месторождения железа, марганца, бокситов, малых и редких элементов (связанные с углями) и других полезных ископаемых. В осадках, отложившихся в условиях засушливого климата, можно обнаружить месторождения солей, самородной серы, медистых песчаников и некоторых других образований.

### ВЫДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РУДНЫХ ЭПОХ

При работах по прогнозу следует уделить особое внимание рудным эпохам, которые проявились особенно четко и дали ряд уже известных рудных месторождений в пределах района исследования или соседних территорий. Кроме того, необходимо сосредоточить внимание на тех, казалось бы, безрудных отложениях, которые по времени формирования можно отнести к известным глобальным рудным эпохам.

Рудной эпохе в геологическом разрезе обычно соответствуют несколько горизонтов руд и оруденелых образований, прослеживающихся на значительной площади и залегающих среди толщ пустых пород. На карте прогноза необходимо по возможности наметить всю область проявления рудных накоплений и рудной минерализации, связанной с данной эпохой. Надлежит также выделить соответствующие этой эпохе области сноса материала, области развития коры выветривания (первая зона), наметить в пределах последних районы, перспективные для поисков остаточных месторождений. В областях формирования седиментационных месторождений следует наметить границы второй и третьей зон, выделить рудную формацию осадочных отложений по фактическим данным, наблюдаемым в естественных выходах и полученным в результате проходки разведочных горных выработок и бурения. Именно для этих отрезков геологического времени, соответствующих рудным эпохам, необходимо знание климата и микроклиматических особенностей региона. Важно выяснить, что представляла собой суша? Какие процессы выветривания преобладали на ней? Могли ли образовываться в ее пределах остаточные месторождения? Могла ли она поставлять исходный материал для образования седиментационных месторождений? Учет палеогеографических, палеоклиматических, тектонических и других факторов может позволить сделать определенное заключение по этим и многим другим возникающим вопросам.

Если эпоха протекала на фоне стабильного стояния частей континента, где шло интенсивное химическое выветривание, то имеются благоприятные предпосылки для поисков остаточных месторождений в пределах первой зоны и седиментационных — во второй и третьей. Эти предпосылки необходимо подкрепить тщательным учетом всех известных косвенных признаков, свидетельствующих о возможности развития рудного процесса в регионе. К их числу относятся наличие сохранившихся нижних горизонтов коры вывет-

ривания в области сноса, наличие переотложенных продуктов коры выветривания среди осадочных образований, прослой среди них каолиновых глин и др.

В разрезе осадочных отложений отдельных регионов зачастую может быть установлена выдержанная приуроченность рудопроявлений к определенному стратиграфическому интервалу. Хотя это и не дает основания для выделения самостоятельной рудной эпохи, отложения такого стратиграфического уровня и палеогеография времени их накопления должны быть подробно изучены во всех тех же аспектах, что и в случае рудной эпохи.

Рудообразование далекого геологического прошлого не всегда фиксируется выходами соответствующих полезных ископаемых или следами рудной минерализации, доступными непосредственному наблюдению. Ему соответствуют погребенные рудные толщи, не проявляющиеся на поверхности, но находящиеся на глубине, доступной для промышленной эксплуатации. Выявление новых месторождений, связанных с не проявившимися на современной поверхности эпохами рудообразования, имеет особое значение. Это одна из задач, для решения которой составляется карта прогноза.

#### **СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ ПРОГНОЗА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Уже отмечалось, что процессы осадочного рудообразования, понимаемого в широком смысле этого слова, протекают неодинаково в различных структурно-тектонических областях. Это вынуждает раздельно рассмотреть принципы прогноза для платформ и складчатых областей, хотя некоторые положения, используемые при прогнозе, в равной мере распространяются на платформенные и геосинклинальные месторождения.

#### **Вспомогательные карты**

На вспомогательных картах должен быть обобщен материал, учитываемый при работах по прогнозу. Количество карт зависит от вида полезных ископаемых, а также от того, для одного или многих элементов составляется прогноз. Большое значение имеет наличие фактических данных. Если их немного, то на одной карте может быть совмещен материал, характеризующий, например, особенности морфологии древней суши, состав основных комплексов пород, слагающих ее, и геохимические особенности распределения отдельных элементов в исходных образованиях. Возможно совмещение на одной карте и других данных. Перед началом работ следует наметить, какие вспомогательные карты нужно составить для прогноза в данном регионе.

*Литолого-палеогеографическая карта.* В начале работы необходимо составить общую литолого-палеогеографическую карту или схему, отражающую основные условия отложения всего элювиально-

осадочного комплекса, рудной или рудовмещающей формации, взятых в целом. Если комплекс (или формация) отложился за короткий отрезок времени, соответствующий одной рудной эпохе, то эта задача не представляет значительных затруднений. Сложнее обстоит дело, когда седиментационный комплекс охватывает две или большее число рудных эпох, что встречается при составлении мелкомасштабных карт прогноза. В этом случае особенности, характерные для отдельных рудных эпох, отражают на карте как частности, обозначаемые дополнительной нагрузкой.

При составлении палеогеографических карт необходимо прежде всего выяснить, к какому типу относится оруденение: синхронному или асинхронному. В соответствии с этим следует и проводить построение.

На карте выделяют основные зоны седиментации и рудообразования, а в их пределах — фации осадочных отложений и рудные фации. Это делается с учетом тектонической структуры и палеорельефа региона и пространственного размещения отдельных типов осадочных пород комплекса. Специфика палеогеографических карт, составляемых для областей седиментации, хорошо известна и не будет здесь описываться. Отметим только, что следует учесть закономерности распространения фаций и, основываясь на них, наметить предполагаемое распространение рудной фации, а также площадь вероятного размещения руд, перспективную для поисков.

На той же карте для областей сноса, располагающихся главным образом на месте положительных тектонических структур платформ, необходимо, по возможности, восстановить основные особенности древней геоморфологии и гипсометрии и выделить возвышенные участки, относимые к зоне сноса, в пределах которых шло разрушение материнских пород и вынос обломочного материала, а также невысоко приподнятые территории первой зоны, где могло развиваться интенсивное химическое выветривание и образование остаточных месторождений.

В областях, перекрытых чехлом более молодых отложений, следует показать характер поверхности древнего рельефа суши. В тех местах, где область древней суши не перекрыта молодыми осадочными породами, для реконструкции древнего рельефа необходимо воспользоваться геоморфологическими данными. При этом важно установить: 1) расположение основных элементов древнего рельефа — поверхностей выравнивания, древних плато, других возвышенностей, низин, древних речных долин, других ложбин стока, озерных впадин, мест локализации карста и т. п.; 2) относительные высоты основных элементов рельефа, их соотношение друг с другом; 3) характеристику (по возможности) морфологии возвышенных территорий, равнин, ложбин стока и т. п. Само собой разумеется, что все это должно быть выполнено для эпохи, синхронной времени отложения пород элювиально-осадочного комп-

лекса, с учетом значения и роли более молодых элементов рельефа, наложенных на древние.

При построении палеогеографических карт важно (по возможности) детально воссоздать палеогеографическую обстановку, возникшую к началу формирования трансгрессивных серий, с которыми обычно связана преобладающая масса месторождений. Большое значение имеет реконструкция палеогеографии времени крупных регрессий. Напомним, что с ними также часто связывается образование специфических месторождений.

*Структурно-тектоническая карта.* Уже упоминалось, что при проведении работ по прогнозированию необходимо учитывать основные элементы древней тектонической структуры региона, отражающейся на распределении основных зон седиментации в его пределах, а также седиментационных комплексов и формаций. Особенности локализации первичноосадочного оруденения также во многом определяются характером консидементационной или более древней тектонической структуры региона. Структурные элементы, например моноклинали, определяют особенности движения подземных вод и формирования некоторых типов катагенетических месторождений (роллы урановых руд) и т. д.

На структурно-тектонической карте должны быть отражены все складчатые и разрывные дислокации верхнего структурного этажа платформ, желательно с обозначением времени их формирования, а также поверхность размытых пород, подстилающих отложения, связанные с каждой рудной эпохой.

Кроме того, на структурно-тектонической карте следует показывать глубину залегания кровли седиментационного комплекса или формации в стратоизогипсах, а также глубину залегания отдельных рудных и маркирующих горизонтов. Все эти данные позволяют быстро и достаточно точно наметить районы с оптимальными глубинами рудных горизонтов или пластов пород, которые согласно существующим представлениям должны их заключать. Методы построения тектонических карт хорошо известны. Однако для наших целей необходимо при изображении складчатых структур уделить внимание наиболее тщательному выделению мелких дополнительных складок и куполовидных поднятий, развивающихся на фоне основных структурных единиц. Особо должны быть отмечены мелкие смятия и перегибы слоев, наблюдающиеся в области распространения моноклиналино залегающих пород и пород, смятых в складки. Все эти мелкие детали тектонических структур могут контролировать отдельные типы остаточных и катагенетических руд и представлять практический интерес. На карте должны быть показаны главные интрузивные и эффузивные тела (гранитоиды, траппы и другие породы), без которых невозможно передать особенности структуры региона. Также должны найти отражение наиболее существенные молодые тектонические структуры, вплоть до современных, играющие важную роль при вторичном перераспределении металла в стадию катагенеза.

Особое значение имеет учет зон трещиноватости в толще осадочных пород, с которыми при благоприятных обстоятельствах могут быть связаны рудные залежи, возникшие в катагенетическую стадию. Глубокое химическое выветривание и образование остаточных месторождений различных типов протекает наиболее интенсивно в зонах развития трещиноватости и разрывных нарушений (линейная кора выветривания и связанные с ней месторождения).

При изображении разрывных нарушений необходимо указывать состав пород. При благоприятном сочетании различных типов пород, контактирующих по линии тектонического нарушения, в пределах первой зоны можно встретить контактово-карстовые месторождения. Они, в частности, развиваются в области соприкосновения ультраосновных пород с известняками. Участки, располагающиеся вдоль контакта пород различного состава, благоприятны и для локализации залежей первичноосадочных руд, например бокситов. В составе седиментационных отложений второй и третьей зон в области подобных контактов вдоль линий разрывных нарушений могут наблюдаться катагенетические рудные залежи.

*Карты коры выветривания и древних водоносных горизонтов в осадочной толще.* Выявление особенностей древнего выветривания имеет очень большое значение для правильных прогнозных заключений. В связи с этим возникает необходимость составления карты коры выветривания. На ней должны быть обозначены все области распространения коры выветривания и участки ее, уцелевшие от размыва. В некоторых районах, например на территории Западной Сибири, где в течение длительного континентального периода неоднократно происходило глубокое выветривание, может быть выделено несколько кор выветривания различного возраста (Казаринов, 1958). Должны быть выделены зоны коры выветривания, вскрытые вследствие размыва. Следует обозначить минеральный состав продуктов, слагающих коры выветривания.

Необходимо уделить внимание материнским породам, подвергавшимся выветриванию. Среди них должны быть выделены главные типы пород: ультраосновные и основные, щелочные, кислые (среди магматогенных образований), известняки, сланцы, полимиктовые песчаники, красноцветные толщи и другие (среди осадочных), гнейсы, хлорит-серицитовые сланцы, филлиты и другие породы (среди метаморфических). Необходимо отметить все известные гипогенные, остаточные и осадочные месторождения, связанные с материнскими породами; нанести на карту древние поверхности выравнивания, главнейшие зоны разрывных нарушений и трещиноватости, известные в области развития материнских пород и являющиеся местом локализации линейной коры выветривания.

Во многих регионах еще не установлены основные эпохи развития химического выветривания и соответствующие им горизонты

древних кор. Анализ климатов прошлого, как и выявление всех особенностей осадочных толщ и формаций, указывающих на вероятность существования древней коры выветривания, представляет чрезвычайно ответственную задачу, от правильного разрешения которой во многом зависит эффективность работ по прогнозу. В связи с этим необходимо произвести учет образований, являющихся переотложенными продуктами коры выветривания. Они фиксируются в разрезах осадочных пород горизонтами пестроцветных глинистых образований, слоями каолиновых глин или залежами чистых каолинов и горизонтами кварцевых песков, сложенных мелкими слабо окатанными зернами, различными типами пород, возникших в результате переотложения коры выветривания и характеризующихся наличием стойких к выветриванию минералов (циркона, граната, турмалина, кварца и др.). К числу признаков, указывающих на эпоху древнего выветривания, следует отнести переотложенные залежи некоторых руд, например бокситовые, образовавшиеся за счет размыва первичных руд. Все эти признаки, указывающие на древнее выветривание, должны быть отражены на карте коры выветривания и соответствующим образом проинтерпретированы. В частности, в областях второй и третьей зон седиментации и рудообразования следует выделить площади распространения переотложенных пород коры выветривания, отметив их возрастную принадлежность.

На основе использования палеоклиматических и других данных следует высказать предположение о вероятных эпохах образования кор выветривания в пределах региона. На карте необходимо наметить предполагаемые области распространения этих гипотетических кор.

Для решения вопросов, связанных с возможностью обнаружения карстовых и катагенетических рудных месторождений, важно выяснить основные особенности гидрогеологии и палеогидрогеологии рудовмещающей формации. Если имеется возможность, следует составить гидрогеологическую (или палеогидрогеологическую) схему (или карту) региона. При этом следует выделить и оконтурить известные в районе пластовые воды, характеризующиеся восстановительными свойствами — нефтяные и сероводородные воды, а также горячие рассолы с повышенным содержанием брома, свинца и других рудных элементов, подобные известным рассолам Красного моря, полуострова Челекен, и подземные — с повышенным содержанием углекислоты. Желательно показать приуроченность их к тем или иным тектоническим структурам. В особо благоприятных случаях следует сделать попытку воссоздать области распространения основных типов подземных вод в прошлом, особенно в те эпохи, когда по имеющимся данным происходил процесс катагенетического перераспределения рудного материала.

В ряде случаев возникает необходимость в построении и других вспомогательных карт: древнего карста, геоморфологических или палеогеоморфологических, послерудного размыва и т. п.

Выбор вспомогательных карт, которые необходимо составлять, определяется в каждом конкретном случае в соответствии с особенностями и условиями образования тех месторождений руд, для которых дается прогнозное заключение.

*Металлогеническая карта.* При построении этой карты учитываются все возможные источники поступления металла, расположенные в области питания. В пределах древней суши как обнаженной на поверхности, так и скрытой под более молодыми покровными образованиями, необходимо показать: 1) месторождения полезных ископаемых, связанных с материнскими породами; 2) главнейшие комплексы этих пород, обогащенные металлами, например медью; древние сланцы, содержащие повышенное количество ванадия, и т. п.; 3) главные области распространения пород различного петрографического и литологического состава. Данные по геохимии рудных элементов в области сноса могут быть нанесены в изолиниях или в виде отдельных точек с цифровой характеристикой, соответствующей содержанию металла в породах. Особое внимание следует уделить геохимии рудных элементов в материнских породах области сноса, погребенных под осадочными толщами, отложившимися непосредственно после рудообразования. При этих условиях древние породы в наименьшей степени уничтожаются размывом и могут сохранить наибольшее сходство с исходными породами, за счет разрушения которых сформированы осадочные месторождения.

Все материалы, касающиеся остаточных месторождений первой зоны, состава исходных образований, должны быть сопоставлены с материалом зоны седиментации. Так, состав гальки и терригенных зерен в осадочной толще дает наиболее правильное представление о составе материнских пород, подвергшихся размыву на суше в момент отложения рудных концентраций. Следует уделить внимание металлогеническим и геохимическим особенностям именно тех пород, которые размывались в эпоху образования пород формации.

Состав древних конгломератов, песчаников, а также минеральных зерен в других отложениях в ряде случаев побуждает искать в области древней суши еще не обнаруженные породы и не открытые месторождения.

В области развития пород второй и третьей зон указывают все известные седиментационные месторождения и рудопроявления. При этом обозначают элементы, которые являются главным рудным компонентом, а также вид основного полезного ископаемого (например соли, фосфориты и т. п.). Отражают второстепенные рудные элементы и элементы-примеси в рудах. Обозначают распространение толщ или горизонтов, обогащенных тем или иным элементом. Фиксируют и учитывают все катагенетические месторождения и рудопроявления района, намечают основные типы и закономерности их распределения, а также площади вероятного распространения разных полезных ископаемых. На основании дан-

## Карта прогноза

Основные данные, имеющие наибольшее значение для обоснования прогнозных предположений, переносят с вспомогательных карт на карту прогноза. На ней, помимо необходимого фактического материала, характеризующего металлогенические особенности района, в наглядной форме отражают только основные факторы, определяющие процесс рудообразования в той или иной части территории, обоснованно выделяют области, перспективные для поисков какого-либо полезного ископаемого или группы их.

Обычно все многочисленные основные данные, учитываемые при прогнозе, могут быть нанесены на одну карту. Часть их приходится на область суши, другая — на области, занятые морскими водоемами. Если обилие материала затрудняет изображение на одной карте, его можно распределить на двух картах. При этом на одной из них, выполненной на кальке, накладываемой на основную, можно показать все данные по палеогеографии, области отложения, а также отразить особенности древнего рельефа области сноса. На ней же можно показать основные структурные черты региона. На второй карте следует поместить данные по металлогени, весь другой материал, необходимый для прогноза, и графически отразить практические рекомендации.

К карте должна быть приложена объяснительная записка, в которой изложены основные теоретические предпосылки, использованные при прогнозировании; наиболее существенные элементы геологии района; методы, примененные при составлении данной карты; основные закономерности в распределении полезных ископаемых (на площади, ограниченной картой), а также выводы — прогноз и обоснование практических рекомендаций.

### Выделение перспективных площадей

При разработке методики прогноза нельзя предложить универсальную схему для месторождений всех типов. Последние настолько многообразны, что нет возможности подчинить их одной схеме. В связи с этим вначале будут охарактеризованы некоторые наиболее общие приемы, которые можно применить при составлении карт прогноза. В главе VI будут рассмотрены методы выделения перспективных площадей для поисков месторождений отдельных полезных ископаемых.

При выделении элювиально-осадочных комплексов пород рудных формаций и площадей, перспективных для поисков рудных месторождений этого типа, геолог может встретиться с различными случаями, которые в равной мере типичны и для месторождений, развитых в складчатых областях.

*Первый случай.* Формации и комплексы могут включать рудные месторождения, известные либо непосредственно в регионе, либо поблизости за его пределами. Это наиболее благоприятный случай, когда имеются прямые указания на то, что с исследуемым комплексом могут связываться новые, еще не открытые рудные месторождения. Области распространения пород комплекса должны быть выделены в качестве перспективных территорий.

Если оруденение связано с рудной формацией, то вся область развития слагающих ее пород должна рассматриваться в качестве перспективной для поисков. Исходя из особенностей геологии района, характера распределения металла и прочих факторов, можно наметить очередность поисковых работ в пределах исследуемой площади, но выделение участков для первоочередных разведочных работ должно быть сделано уже на основании результатов поисков.

При наличии в районе рудовмещающей формации в ее пределах должны быть намечены стратиграфические уровни, с которыми связывается оруденение, а также литологические типы пород, с которыми на известных месторождениях ассоциируют полезные ископаемые. Области распространения пород, отличающихся благоприятным литологическим составом и соответствующим стратиграфическим положением, следует выделить в качестве перспективных для поисков и использовать для выделения наиболее перспективных площадей.

*Второй случай.* Выделенный комплекс пород или формация не содержат оруденения, но по времени образования совпадают с рудной эпохой, зафиксированной в других местах. Отложения этого комплекса следует считать перспективными. В пределах территории можно наметить области, заслуживающие первоочередного исследования. При этом следует использовать ранее упомянутые особенности геологии и геохимии и другие данные, позволяющие высказать прогнозные заключения относительно возможного оруденения в осадочном комплексе.

*Третий случай.* Формации и комплексы пород не несут оруденения и не могут быть увязаны с какой-либо известной рудной эпохой. В то же время породы комплекса обладают благоприятными признаками, указывающими на возможность оруденения. Уже упоминалось, что для отложений, связанных с трансгрессивной серией осадков, такими признаками являются: наличие длительного перерыва в основании интересующей нас пачки пород;

существование на суше в течение времени, соответствующего этому перерыву, климатических и других условий, благоприятных для образования остаточных месторождений и для выноса подвижных рудных элементов из материнских пород; наличие ниже поверхности размыва материнских пород, в составе которых имеются рудные компоненты, способствующие возникновению остаточных месторождений; наличие коры выветривания под поверхностью размыва; залегание среди осадочных пород горизонтов переотложенной коры выветривания, конгломератов с рудной галькой и др.

Для месторождений, связанных с регрессивной серией, благоприятные признаки имеют несколько иной характер. К ним относятся: глубокий дорудный размыв ранее накопленной серии осадочных образований, вскрывающий комплекс различных по составу пород; наличие умеренно сухого и сухого климата, в условиях которого могут мигрировать лишь относительно подвижные элементы и несколько ослаблены процессы механического разрушения; возникновение в пределах третьей зоны усыхающих водоемов, благоприятных для накопления пород галогенной формации; наличие условий, благоприятствующих накоплению в пределах второй зоны толщ терригенных красноцветных образований с растительными остатками, и т. п.

Признаки, указывающие на вероятную перспективность поисков в области развития пород трансгрессивной и регрессивной серий, этим не исчерпываются. Однако по мере детализации они теряют общий характер и становятся специфичными для различных групп месторождений. Необходимо подчеркнуть, что признаки сохраняют свое значение в случае, если интересующая нас серия пород отложилась за время уже известной рудной эпохи, они подтверждают вероятную перспективность пород данной серии.

#### **Площади, перспективные для поисков катагенетических месторождений**

Области, перспективные для поисков месторождений меди, молибдена, урана, ванадия и некоторых других элементов, должны удовлетворять условиям, описанным в разделе «Рудообразование в катагенетическую стадию». Заметим лишь, что большого внимания заслуживают породы, обогащенные органическим веществом, а также площади, где с благоприятными структурами в недавнем прошлом были связаны нефтяные месторождения. Весьма интересны участки, примыкающие к разрушающимся в настоящее время нефтяным залежам. Эти площади должны быть отнесены к числу объектов, заслуживающих первоочередного обследования с целью поисков руд урана и ванадия.

Особое значение имеют данные по гидрогеохимии. Если известно, что в области развития благоприятных пород и структур циркулируют подземные воды, отличающиеся повышенным содержанием металла, или залегают рудоносные рассолы, то имеются

все основания для постановки поисковых работ. Выделить перспективные участки первой очереди можно, если намечаются вероятные особенности древней динамики подземных вод в породах формаций и комплексов. Чрезвычайно благоприятны такие территории, где подземные воды вследствие характера тектонической структуры и особенностей питания вначале проходят по породам, отличающимся повышенным (против кларковых) содержанием рудных элементов. Воды обогащаются рудными элементами, причем содержание некоторых металлов может достигать значительных величин. Если такие воды в дальнейшем поступают в область распространения пород, содержащих активный компонент, последний постепенно сорбирует металл, причем с течением времени могут образоваться промышленные залежи руд.

Если установлено, что в пределах тектонического нарушения или зоны трещиноватости происходит смешение вод разных составов, то прилегающая территория заслуживает внимания. Особенно благоприятны условия, когда в составе подземных вод одного типа устанавливается повышенное против кларка содержание какого-либо металла, а воды второго типа, вступающие в контакт с первыми, характеризуются иными физико-химическими показателями; тогда соединения рудного элемента становятся неустойчивыми и переходят в твердую фазу. Территория с такими условиями должна быть отнесена к наиболее перспективной.

Повышенные содержания элементов в подземных водах часто являются прямым указанием на возможное наличие рудных концентраций в составе формации и позволяют выделить части региона, перспективные для поисков тех или иных полезных ископаемых.

Данные по гидрогеохимии являются важным поисковым критерием для месторождений геохимически подвижных элементов. Их необходимо тщательно учитывать при работах по прогнозам перспективных районов.

### **МЕТОДЫ ПРОГНОЗА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ**

При составлении карты прогноза осадочных рудных месторождений, расположенных в складчатых областях, необходимо учитывать основные условия и особенности рудообразования, общие и для месторождений, связанных с платформами. К числу их относятся: палеогеография района, климат, основные эпохи рудообразования или стратиграфическая приуроченность оруденения, рудных формаций и т. п. Общими являются и некоторые методические приемы прогноза: выбор необходимых вспомогательных карт, методы их составления, нагрузка и т. п.

Наряду с этим имеются отличия отдельных типов платформенных месторождений от геосинклинальных, что вызывает необходимость использования несколько видоизмененных методов прогно-

за. Рассмотрим их на примере бокситовых месторождений, связанных с орогенным этапом развития Минусинского прогиба. Целесообразно изложить также формационный метод прогноза геосинклинальных бокситовых месторождений и метод прогноза марганцевых месторождений, основанный на учете совокупности благоприятных признаков.

### Карта прогноза бокситов на палеогеографической основе

В девонском периоде Минусинский прогиб представлял собой область, которая после завершения основных этапов складчатости переживала орогенную стадию развития. Несмотря на то что бокситовые месторождения, связанные с этой стадией, встречаются редко, представляется целесообразным оценить перспективы поисков бокситов в Минусинском крае. В девонском периоде в Минусинском прогибе отлагалась мощная толща терригенных пород молассовой формации, включающих отдельные подчиненные горизонты карбонатных образований. В нижнем девоне накапливались также толщи эффузивных и пирокластических образований.

В составе прогиба в настоящее время выделяются три впадины: (с юга на север): Южно-Минусинская, Северо-Минусинская и Назаровская (рис. 20).

Возможность образования бокситовых месторождений в Минусинском прогибе, связанных с породами девонского возраста, обсуждалась в геологической литературе. Так, одни авторы полагают, что в течение девонского периода на территории современного Минусинского прогиба были неблагоприятные условия для образования бокситов. Основанием для такого вывода явилось представление о том, что эта территория располагалась в девоне в области с сухим климатом, в условиях которого невозможно образование бокситов. Другие геологи благоприятно оценивают перспективы бокситоносности девона Минусинского прогиба. Они основываются главным образом на факте обнаружения девонской коры выветривания, которая установлена местами в Назаровской и в Северо-Минусинской впадинах. Кроме того, в одной точке обнаружен свободный глинозем, а у с. Назарово встречен макроскопически различимый диаспор.

С точки зрения перспектив бокситоносности девонские отложения Минусинского прогиба неравноценны. Верхняя и нижняя части их разреза сложены мощными комплексами красноцветных пород, с которыми бокситы обычно не бывают связаны. Красноцветы представлены песчаным материалом, достаточно свежим и не несущим следов глубокого химического выветривания. Значительная мощность образований позволяет заключить, что они сформировались на фоне постоянных и длительных прогибаний земной коры, т. е. в условиях, когда невозможно образование значительных перепадов, сопровождающихся глубоким химическим выветриванием

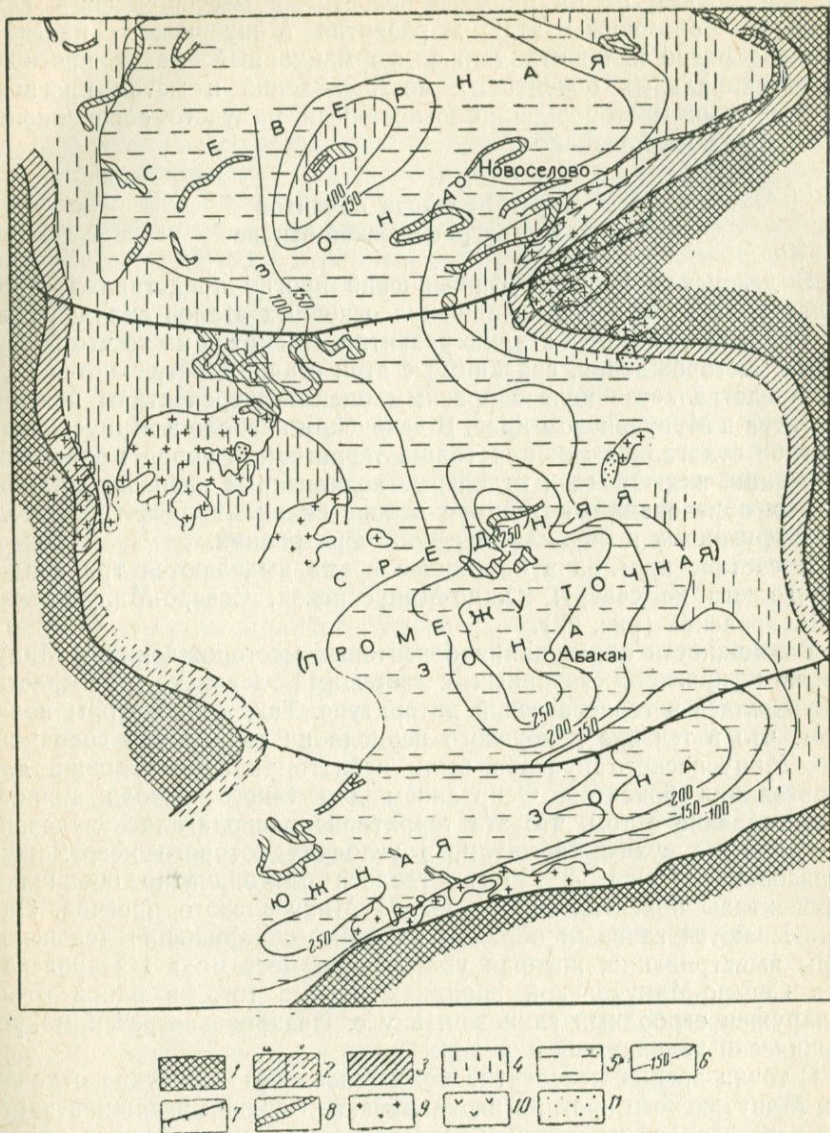


Рис. 20. Схематическая карта прогноза бокситов в отложениях бейской свиты ( $D_2$ ) Минусинского прогиба

1 — предполагаемая суша в области бейских и предбейских поднятий; 2 — области возможного бокситонакопления, примыкающие к древним поднятиям в северной и средней зонах (а), в средней и южной зонах (б); 3 — районы возможного бокситонакопления (с сохранившимися отложениями бейской свиты), относительно перспективные для поисков бокситов; 4 — промежуточные области, удаленные от древних поднятий, мало перспективные для поисков бокситов; 5 — области наибольших прогибаний, удаленные от древних поднятий, не перспективные для поисков бокситов; 6 — линии равных мощностей бейской свиты; 7 — границы тектонических зон; 8 — области фактического распространения бейской свиты и ее возрастных аналогов; 9 — граниты; 10 — основные и ультраосновные породы; 11 — породы среднего и основного состава

пород в пределах континентальных площадей. Иными словами, в эпохи накопления пород нижнего и верхнего комплексов девонских отложений условия были неблагоприятны для формирования кор выветривания и накопления глинозема за счет гипергенных процессов.

В отличие от этого отложения среднего девона, главным образом илemorовской и вышележащей бейской свит живетского яруса, имеют ряд особенностей, которые позволяют допустить возможность формирования кор выветривания и бокситов в течение времени накопления этих образований. К числу благоприятных особенностей относятся: 1) наличие перерыва в осадконакоплении и эпохи континентального выветривания в северной части Минусинского прогиба, где выпадают из разреза отложения эйфельского и нижней части живетского ярусов; 2) развитие корней древней предбейской коры выветривания, распространенной в северной части прогиба, непосредственно под осадочными отложениями бейской свиты; 3) широкое распространение среди отложений живетского яруса среднего девона прослоев кварцевого песчаника и пород, обогащенных зернами минералов, устойчивых к выветриванию. Наличие в составе живетских отложений примеси минералов глин — монтмориллонита и каолинита, являющихся несомненными продуктами процесса выветривания; 4) нахождение в разрезе девонских отложений на р. Тубе пород угленосной фации, которые формировались в условиях теплого и влажного климата; 5) обнаружение в девонской толще отдельных разностей пород, содержащих свободный глинозем.

В то же время следует учитывать, что горизонты, перспективные для поисков бокситов, как правило, нигде не залегают на карбонатных породах. Это обстоятельство резко уменьшает вероятность обнаружения бокситовых месторождений в пределах региона, поскольку в геосинклинальных областях залежи бокситов обычно располагаются на карбонатном основании.

В живетский век вся территория Минусинского прогиба относилась к влажной климатической зоне. В пользу такого предположения свидетельствует прежде всего формирование в илemorовское время коры выветривания, которая, вероятно, была широко развита в пределах северной части прогиба.

Палеогеографические реконструкции Н. М. Страхова (1960) позволяют дать объяснение наличию гипсов в районе с. Оросительного среди отложений бейской свиты. Согласно Н. М. Страхову, область Минусинского прогиба располагалась в среднем девоне на границе между аридной и гумидной климатическими зонами. В переходной полосе, на фоне общих климатических условий, могли сохраняться отдельные участки с аридным микроклиматом.

Для девона территории Минусинского прогиба карты прогноза составлены для бейского времени. В качестве основы использовалась геологическая карта, на которой исключен ряд стратиграфических горизонтов и петрографических комплексов. Условными

знаками выделены только те из них, которые могут быть использованы для прогноза отложения бейской свиты, а также граниты, породы среднего, щелочного состава и ультраосновные породы. Области распространения других пород как в пределах обрамления, так и в прогибе только оконтурены и отмечены возрастными индексами.

Для составления карты прогноза были использованы палеогеографические карты времени отложения пород илеморовской и бейской свит, составленные Г. И. Теодоровичем, Анатольевой и дополненные наблюдениями в поле. По данным бурения на нефть составлена карта изоплахит отложений бейской свиты.

Неоднородность тектонических движений, проявляющаяся в широтном направлении, позволяет выделить в девонском периоде в пределах прогиба три зоны: южную, среднюю (промежуточную) и северную (см. рис. 20). Южная зона характеризуется устойчивой тенденцией к прогибанию земной коры. Это хорошо устанавливается по мощности отложений бейской свиты, которые примерно в 2 раза превышают среднюю величину ее и достигают здесь 280 м. В пределах зоны неизвестен предбейский перерыв, и породы бейской свиты согласно залегают на песчаники и сланцы более древней илеморовской свиты, представленной всеми горизонтами.

В пределах северной зоны прогибания были относительно менее интенсивными, в связи с чем мощность бейской свиты не превышает обычно 150 м. В пределах зоны повсеместно устанавливается перерыв в основании бейской свиты, причем из разреза выпадает ряд стратиграфических элементов и нижние горизонты бейской свиты несогласно залегают на размытой поверхности эффузивных пород бескарской свиты ( $D_1 - D_2$ ) или на более древних образованиях. Континентальный перерыв, существовавший в пределах северной зоны, сопровождался химическим разложением материнских пород и формированием коры выветривания, корни которой сохранились в ряде мест.

Средняя зона характеризуется умеренной интенсивностью прогибания земной коры. Отложения бейской свиты имеют мощность до 200 м. Перерыв в основании бейской свиты не установлен и она согласно залегают на породах илеморовской свиты или ее возрастных аналогов. Не обнаружена также древняя предбейская кора выветривания.

Описываемая структурно-тектоническая зональность имеет важное значение для оценки перспектив бокситоносности территории района. Северная зона, отличающаяся более устойчивым тектоническим режимом, относительно благоприятна для формирования коры выветривания бокситов.

Тектоническая зональность в направлении от бортов прогиба к его центральной части выражается весьма отчетливо. В краевой зоне в пределах современного обрамления прогиба располагались области древней суши. Примерные границы суши проведены на основании изменения литологического состава пород бейской сви-

ты, которые представлены в центральной части впадин чистыми карбонатными и глинисто-карбонатными разностями, а в краевой части обогащены песчаным материалом.

Бокситы осадочного происхождения могли образовываться в пределах полос, захватывавших пониженные участки по периферии древней суши неподалеку от области сноса и краевые части расположенных рядом водоемов. Ширина этих полос, отмеченных на рис. 20, условно принимается равной 7 км, поскольку на известных бокситовых месторождениях рудные залежи обычно не располагаются на более значительном расстоянии от области развития материнских пород. Относительно перспективные области выделяются в пределах района в виде полос, которые прилегают к Салгонскому кряжу — на севере, Восточному Саяну — на востоке и к Кузнецкому Алатау — на западе.

Вероятность формирования бокситов в пределах этих полос различна. Наибольшая она в пределах тех частей полосы, которые находятся в северной, относительно стабильной зоне. Благоприятная полоса в пределах северной и части средней зоны выделяется особым знаком (см. рис. 20).

К полосам возможного бокситообразования примыкают другие области, более удаленные от поднятий краевых частей прогиба. Они мало перспективны вследствие того, что сравнительно далеко отстоят от древней суши, которая могла явиться поставщиком материала при образовании бокситов. Тем не менее местами в описываемых областях, особенно на площадях, примыкающих к перспективной полосе, могли возникнуть накопления бокситов, хотя вероятность их образования и невелика. Такого рода накопления наиболее вероятны в северной зоне и северной части промежуточной зоны.

В центральных частях прогиба вероятность встретить бокситы наименьшая. Граница этой малоблагоприятной области проводится условно по изопаките 100 м бейских отложений. В эту зону входят средняя часть Назаровской впадины, центральная часть Северо-Минусинской впадины, район Сыда-Ербинской синклинали и большая часть Южно-Минусинской впадины.

В пределах перспективной для поисков бокситов полосы наиболее благоприятны участки, в которых фактически сохранились породы бейской свиты, как развитые в поверхностных выходах, так и залегающие на глубине под слоями более молодых образований (см. рис. 20). Только на этих участках целесообразно провести поисковые работы.

Как видно из рис. 20, породы бейской свиты сохранились и представляют интерес для поисков в ограниченном числе мест, главным образом по периферии Восточного Саяна и в одном месте в области восточного склона Кузнецкого Алатау.

Принимаем условно, что бокситовые месторождения могут представлять промышленный интерес только в том случае, если они залегают выше нулевой отметки, т. е. выше уровня моря. Если

учесть, что поверхность современного рельефа в пределах Минусинского прогиба лежит на абсолютных отметках 300—400, а иногда до 500 м, то бокситовые залежи, располагающиеся на уровне моря, будут находиться под вскрышей мощностью 300—400 м.

Стратоизогипсу с отметкой 0 м можно нанести только на площади северной части Южно-Минусинской впадины в пределах смежных частей средней и южной тектонических зон.

Возможные месторождения бокситов будут представлять интерес в пределах тех площадей распространения бейской свиты, которые заключены между выходами ее на поверхность, с одной стороны, и стратоизогипсой с отметкой 0 м — с другой. Такая площадь, например, окаймляет полукольцом с юга район горы Убрус на р. Тубе (не обозначена на карте).

Состав пород, подстилающих бейскую свиту, который имеет очень большое значение для определения перспектив бокситоносности, не удалось отразить на рис. 20 из-за недостаточной детальности. Отсутствуют наиболее перспективные карбонатные породы, что само по себе делает перспективы для поисков бокситов в описываемых отложениях мало благоприятными и весьма ограниченными.

#### **Карта прогноза, составленная на основе сравнительной оценки благоприятных признаков**

Наряду с составлением прогнозных металлогенических карт, выполняемых главным образом на палеогеографической основе, заслуживают внимания и другие методы прогнозирования. К числу их относятся метод оценки перспектив рудоносности, основанный на учете максимального количества благоприятных факторов, формационный метод и некоторые другие.

Ниже излагается первый из этих методов, использованный геологом Красноярского геологического управления Р. А. Цыкиным, который любезно предоставил нам свои материалы.

При оценке перспектив марганценосности геосинклинального комплекса осадочных и вулканогенно-осадочных образований позднего докембрия — нижнего кембрия восточного склона Кузнецкого Алатау (рис. 21) на площади около 40 тыс. км<sup>2</sup> были обоснованы главные критерии марганценосности и факторы, отрицательно влияющие на марганцеворудный процесс. Каждому признаку марганценосности присваивался определенный положительный балл, каждому неблагоприятному фактору — отрицательный балл. Затем для всей площади развития осадочных и вулканогенно-осадочных формаций эти баллы суммировались и были нанесены на карту прогнозов в обобщенном виде как площади, обладающие различной степенью перспективности. Все рудопроявления марганца района оценивались поисково-разведочными работами и признаны непромышленными, поэтому им присваивался нулевой балл.

Иначе обстоит дело с месторождениями, для которых вероятно обнаружение новых рудных залежей на флангах и глубоких горизонтах. Зонам выклинивания и флангам месторождений присваивался балл 3. Такой же балл давался участкам, где выявлены ореолы рассеяния марганца (металлометрические, шлиховые или валунные), не связанные с мезо-кайнозойским покровным комплексом осадочных образований и коры выветривания.

Существование в районе нескольких стратиграфических уровней марганценосности позволяет полагать, что к этим же уровням будут приурочены новые рудные объекты. Относительная перспективность каждого уровня неодинаковая. В отложениях верхнего протерозоя района известны лишь безрудные марганценозные породы, вероятность нахождения здесь качественных руд наименьшая и оценивается баллом 1. Нижне- и среднекембрийские уровни марганценосности относительно более перспективны и оцениваются баллом 2. Так как эпохи образования марганцевых руд и фосфоритов в общем не совпадают, а промышленные месторождения тех и других никогда не встречаются в одних и тех же отложениях, перспективы по фосфору снижают перспективы по марганцу и наоборот. Для участков, где установлены фосфатеносные отложения, балл марганценосности снижался на единицу.

Исходя из литолого-фациальных предпосылок осадочное оруждение более вероятно там, где фиксируется нарушение характера строения осадочной толщи как по площади, так и по разрезу. В формациях карбонатной группы особого внимания заслуживают площади, где происходит смена темных сульфидизированных разновидностей известняков светлыми биоморфными. Повышенное внимание следует уделять стратиграфическим контактам осадочных толщ разного состава. Неблагоприятны для локализации оруждения однородные толщи или циклически построенные с устойчивыми ритмами. По фациальному признаку более благоприятны зоны развития мелководных отложений (прибрежные отложения в районе неизвестны). Перспективность отложений по марганцу снижается в экзоконтактных зонах крупных интрузий, в зонах скарнирования и ороговикования. Влияние литолого-фациальных факторов оценивается баллом 1 положительным или отрицательным.

Анализ фактического материала показывает, что в районе наиболее перспективны по марганцу формации: известняковая, доломит-известняковая, терригенная, терригенно-вулканогенная, терригенно-карбонатно-вулканогенная. Эти формации получают дополнительно 1 балл.

Обработка более 5000 спектральных анализов с применением ЭВМ позволила сделать вывод, что рудоносным горизонтам свойственны относительно высокие значения среднего содержания при одновременном значительном росте дисперсии. Для участков, где выявлены такие особенности распределения марганца в отложениях, присваивался дополнительный балл марганценосности.

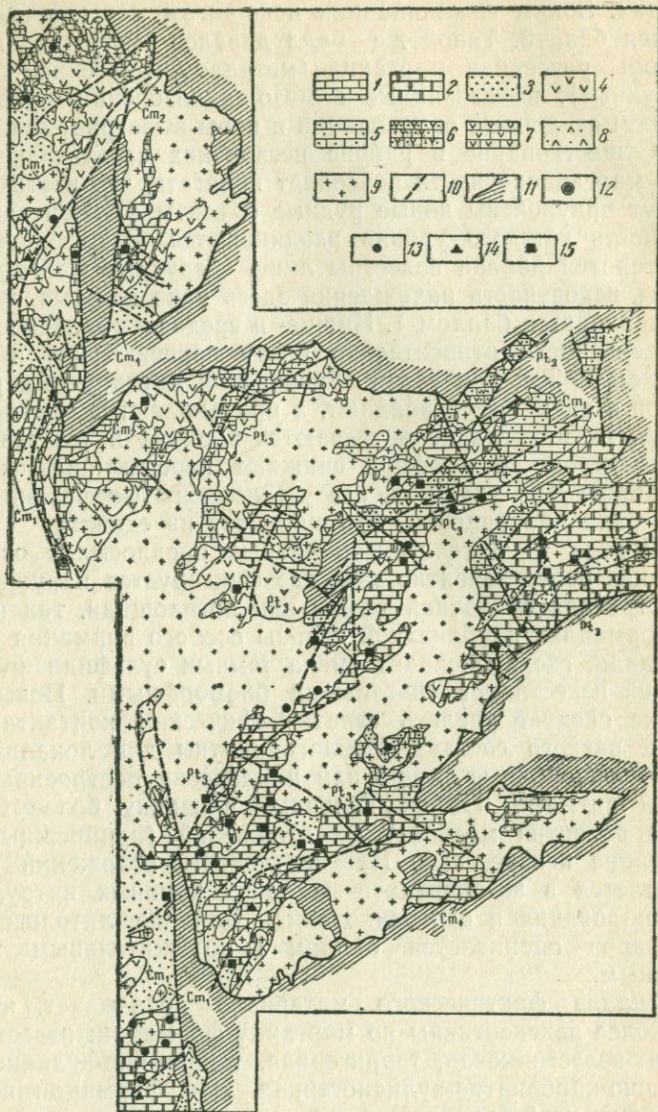
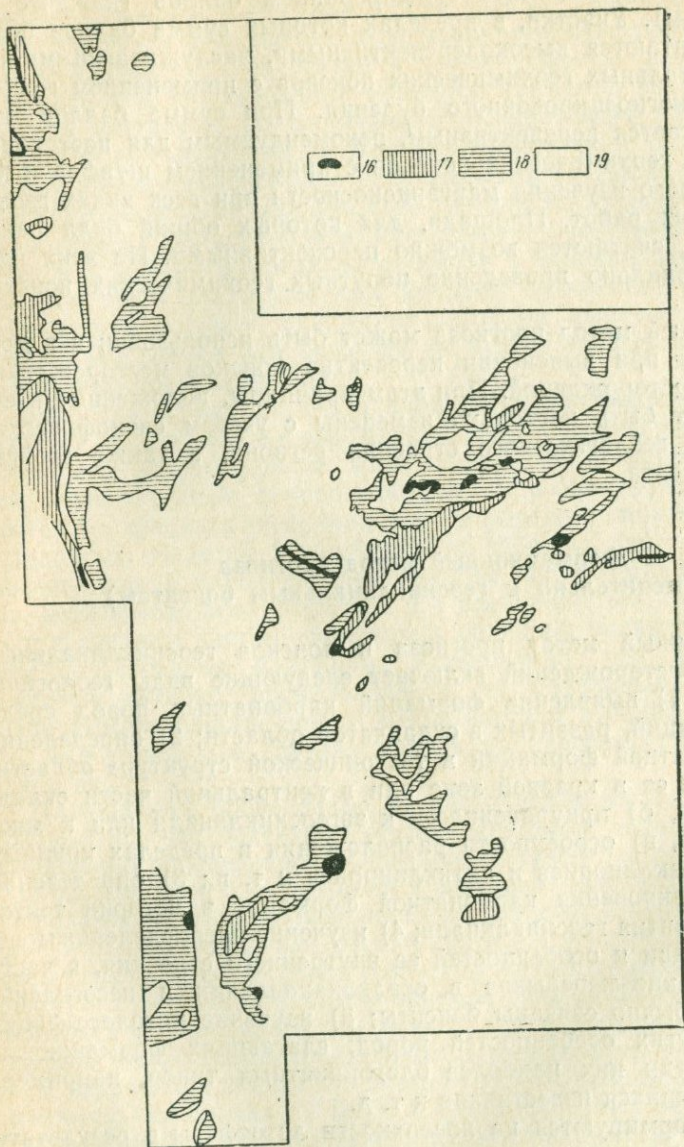


Рис. 21. Схематическая карта марганценосности геологического района (б) по

Геологические формации кале

1 — известняковые; 2 — доломит-известняковые; 3 — терригенные; 4 — вулканогенно-карбонатные; 7 — вулканогенно-карбонатные; 8 — терригенно-вулканогенно-карбонатные; 12 — месторождения марганцевого оруденения; 13 — проявления марганцевой коры выветривания; 14 — рудопоявления формации коры выветривания; 15 — ореолы пективные; 18 — возможно перспе



ческих формаций (а) и карта прогноза марганцевого оруде-  
 Р. А. Цикину  
 донской геосинклинали:

вулканогенные; 5 — терригенно-карбонатные; 6 — вулканогенно-терри-  
 каногенные; 9 — интрузивы; 10 — разломы; 11 — постгеосинклинальные  
 осадочные; 13 — рудопроявления и минерализованные участки осадоч-  
 рассеяния марганца. Площади: 16 — высокоперспективные; 17 — перс-  
 пективные; 19 — бесперспективные

Относительная перспективность осадочных образований района на марганец определялась суммированием баллов (каждого со своим знаком). Участки, в пределах которых сумма баллов больше трех, считаются высокоперспективными, заслуживающими постановки детальных геохимических поисков с применением горных работ и рекогносцировочного бурения. При сумме баллов три участок считается перспективным, рекомендуемым для постановки маршрутных геохимических поисков с применением шурфов и канав и попутного изучения марганцености при всех видах геологоразведочных работ. Площади, для которых общий балл равен одному-двум, считаются возможно перспективными. На этих площадях рационально проведение попутных геохимических поисков марганца.

Изложенный метод прогноза может быть использован и в других регионах при выяснении перспектив поисков месторождений различных месторождений. При этом принципы, положенные в его основу, могут быть несколько изменены с учетом специфических особенностей геологического строения региона, а также свойств рудного элемента.

### **Формационный метод прогноза (применительно к геосинклинальным бокситам)**

Формационный метод прогноза и поисков геосинклинальных бокситовых месторождений включает следующие виды геологических работ: 1) выявление формаций карбонатных пород среди других формаций, развитых в складчатой области; 2) определение места карбонатной формации в тектонической структуре области: а) положение ее в краевой зоне или в центральной части складчатой области, б) приуроченность к эвгеосинклинали или к миогеосинклинали, в) особенности расположения в пределах крупных структур — синклинориев и антиклинориев и т. п.; 3) определение времени возникновения карбонатной формации в истории тектонического развития геосинклинали; 4) изучение распределения мощностей формации и особенностей ее внутреннего строения, в частности, выявление перерывов в осадконакоплении и несогласий, с которыми обычно связаны бокситы; 5) изучение литолого-фациальных и других особенностей пород, слагающих формацию, и выявление среди них наиболее благоприятных типов, например, легко карстующихся известняков и т. д.

Бокситы формируются на поверхности литосферы в результате благоприятного сочетания различных природных условий, которые приобретают характер важнейших факторов бокситообразования, причем выпадение хотя бы одного из них делает невозможным осуществление этого процесса.

Основными факторами бокситообразования являются: 1) климат теплый и влажный, тропический или субтропический, обуслов-

ливающий интенсивное химическое выветривание; 2) тектонический режим стабильный в течение времени, достаточного для глубокого химического разложения горных пород и минералов; 3) материнские породы, легко поддающиеся выветриванию, содержащие алюминий. Существуют и другие факторы, играющие важную роль при формировании бокситов, например характер палеорельефа местности; но особенности палеорельефа обусловлены в основном тектоническим режимом. Чрезвычайно большую роль играют палеогеографические условия, которые также в значительной мере зависят от особенностей тектонических структур, климата и рельефа области бокситообразования, расстояния от берега моря и т. п. При работах по прогнозу и поискам как геосинклинальных, так и платформенных бокситов необходимо учитывать по возможности большее количество факторов, имея в виду, что неправильная оценка или недоучет их может лишить достоверности прогнозные предположения.

Вопрос о структурно-тектонической приуроченности геосинклинальных бокситовых месторождений нашей страны нельзя считать достаточно разработанным. Еще не удалось обнаружить отчетливой связи бокситов с определенными и макроструктурными элементами в пределах геосинклиналей и образовавшихся на их месте складчатых областей. Наряду с этим известно, что краевые части геосинклиналей наиболее благоприятны для формирования бокситов, хотя необходимо считаться и с возможностью приуроченности их и к средним частям складчатых областей, значительно удаленным от соседних платформ. Установлено, что формирование бокситов, активно проявляющееся на начальных этапах развития геосинклинали, может иметь место и в более позднее время, а в отдельных случаях вплоть до завершающей стадии ее развития.

Наблюдения, проведенные на многочисленных месторождениях, показывают, что бокситы в геосинклинальных областях занимают совершенно определенное положение в стратиграфическом разрезе. Они связываются с перерывами в осадконакоплении, причем всегда располагаются выше поверхности несогласия. Характерно, что эти перерывы обычно бывают весьма кратковременными. Зачастую они имеют место в толще пород одного яруса или горизонта стратиграфического разреза. В качестве примера укажем бокситы орловского горизонта Южно-Уральского рудного района, которые связаны с перерывом в отложениях нижефранского подъяруса верхнего девона.

В разрезе осадочных отложений геосинклинальные бокситы связываются, как правило, с формацией карбонатных образований или с мощными горизонтами известняков и доломитов, залегающих в составе других формаций. Наиболее крупные месторождения геосинклинальных бокситов СССР приурочены именно к формации карбонатных пород. Это относится прежде всего к месторождениям СУБР, которые локализируются в толще известняков нижнего и среднего девона. Все бокситовые месторождения Югославии, Гре-

ции, Ямайки и некоторых других стран связываются с мощными толщами пород карбонатной формации. В подошве бокситов всегда залегают карбонатные породы, чаще всего рифогенные известняки с неровной, размытой и закарстованной поверхностью. Характер пород кровли бывает резко различным. Зачастую кровлю слагают известняки или доломиты, в этом случае бокситы заключены полностью среди пород карбонатной формации. В других случаях в кровле бокситового пласта устанавливаются песчано-глинистые породы, а также конгломераты и некоторые другие породы. При этом бокситы располагаются на границе между породами разного состава, но связь с карбонатными отложениями проявляется в том, что они залегают на известняках или доломитах.

Карбонатная формация перспективна для поисков бокситов, если породы ее, согласно с существующими палеоклиматическими реконструкциями, отлагались в условиях влажного и жаркого тропического климата. Непосредственным указанием на образование в таких условиях является наличие рифогенных известняков, слагающих всю формацию в целом или мощные горизонты, входящие в ее состав. Бокситы зачастую связываются именно с рифогенными известняками, само залегание которых в разрезе может указывать на возможную бокситоносность. К числу благоприятных особенностей относится также большая мощность пород карбонатной формации (до 1000 м и более). Карбонатная формация особенно перспективна для поисков бокситов в тех местах, где поблизости развиты материнские породы благоприятного состава, к числу которых прежде всего относятся интрузивные и эффузивные щелочные и основные магматические образования.

Важным указанием на возможную бокситоносность является наличие древней коры выветривания вблизи области распространения карбонатной формации. В наиболее благоприятном случае остатки кор выветривания, образованных раньше процесса накопления бокситов или синхронных ему, устанавливаются рядом с районами развития карбонатных отложений. Такие соотношения известны, в частности, в районе Черемуховского месторождения СУБР, где П. К. Винокуровым и Е. С. Гуткиным описана кора выветривания более древняя, чем бокситовые руды, развитая на силурийских порфиритах и агломератовых туфах порфиритового состава. Гораздо чаще встречаются месторождения, около которых кора выветривания не обнаруживается.

В качестве первоочередного объекта для постановки поисковых работ при прочих равных условиях следует выбирать карбонатные формации девонского и более молодого возраста. Аналогичные образования, но более древнего возраста заслуживают изучения во вторую очередь.

В пределах самой формации карбонатных пород могут быть обнаружены различные типы осадочных образований, которые указывают на вероятность нахождения скрытых залежей бокситов и на перспективность поисков этих руд. К их числу относятся:

1. Породы, непосредственно содержащие свободный глинозем, наличие которых служит прямым указанием на необходимость проведения детальных поисковых и разведочных работ на бокситы. Это будут диаспор-шамозитовые руды, бокситовые глины, сульфатные глины, железные руды с высоким содержанием  $Al_2O_3$  и т. п. Железные руды с повышенным содержанием  $Al_2O_3$  залегают местами в основании бокситового пласта на Кальинском месторождении (СУБР).

2. Различные образования, встречающиеся в ассоциации с бокситами, несущие признаки связи с древней корой выветривания или являющиеся продуктами ее близкого переотложения. Сюда относятся: каолинитовые и каолинит-галлуазитовые глины и аргиллиты; кварцевые пески и песчаники и другие породы, сложенные продуктами разрушения достаточно «зрелых», интенсивно разложившихся материнских образований; своеобразные конгломераты из пород коры выветривания.

3. Отложения, зачастую находящиеся в ассоциации с бокситами, но не несущие признаков связи с корой выветривания: прослойки углей, углистых сланцев, битуминозных сланцев и некоторых других образований. Угли и углистые сланцы известны в маломощном прослое в бокситовом пласте месторождений Медвежий Лог (ЮУРБ). Черные битуминозные сланцы указываются в кровле бокситовой залежи на Черемуховском месторождении (СУБР).

4. Породы, свидетельствующие о наличии скрытого несогласия и перерыва в толще отложений карбонатной формации: маломощные прослойки конгломератов и гравийных песчаников, сложенных как обломочным материалом, принесенным издалека, так и галькой известняков, доломитов и других пород местного происхождения. В качестве примера можно сослаться на горизонт эоценового конгломерата «Промина», который распространен на месторождениях бокситов, приуроченных к границе мела и палеогена в Югославии.

Поскольку бокситы геосинклинальных областей связываются с перерывами в осадконакоплении, большое значение приобретает выявление поверхностей размыва как в пределах самой формации карбонатных отложений, так и на ее кровле, на границе с перекрывающими ее образованиями. Особое значение имеет поверхность размыва, несущая следы дорудного карста, так как именно на ней располагаются залежи бокситов. С закарстованной поверхностью, в непосредственной близости от рудных тел могут связываться остатки бокситовой брекчии, в ряде мест подстилающей пласты бокситов и выходящей за их пределы.

Само собой разумеется, что при проведении работ по прогнозу и поискам следует особенно внимательно относиться к тем частям карбонатной формации, которые образовались в течение времени, соответствующего эпохе бокситообразования, давшей накопления бокситов в пределах региона или на соседних территориях.

Исходя из постоянной четко проявленной связи геосинклинальных бокситов с формацией карбонатных образований предлагается использовать для прогноза этих руд формационный метод, главные положения которого изложены выше. Первый этап работ, проводимых этим методом, обычно должен сводиться к выявлению в пределах данного региона формаций, сложенных карбонатными породами. Во многих геосинклинальных областях уже установлено наличие таких формаций, а их возраст, местонахождение, положение в тектонической структуре и некоторые другие особенности хорошо известны. В тех местах, где подобные работы не выполнены, следует провести выделение карбонатных формаций в составе толщи геосинклинальных осадочных отложений для целей прогноза и поисков бокситов. Приемы, используемые при этом, как и элементы анализа положения формаций в тектонической структуре региона и другие особенности формационного анализа, хорошо известны и здесь рассматриваться не будут. На следующем этапе при выявлении и оценке перспективности формаций необходимо руководствоваться рассмотренными условиями образования геосинклинальных бокситоносных формаций, сведенными в табл. 18.

Таблица 18

Эпохи и условия образования геосинклинальных бокситовых формаций

Эпохи, благоприятные для образования пород формации	Условия и особенности области накопления пород формации
<p>Нижнекембрийская, девонская, нижнекаменноугольная, верхнетриасовая, нижнеюрская, нижнемеловая, верхнемеловая, палеогеновая и неоген-четвертичная (перспективнее более молодые эпохи—девонская и позднее)</p>	<p>Климат: жаркий, тропический или субтропический, с чередованием влажных и засушливых периодов  Тектонический режим: длительное прогибание земной коры с отдельными кратковременными поднятиями  Фациальные типы отложений: фации прибрежно-морских, известковых, реже доломитовых осадков  Наличие исходных пород благоприятного состава:  распространение в области суши магматических пород основного и среднего состава нормального и щелочного ряда, амфиболитов, углистых сланцев и других образований*  Наличие коры выветривания: развитие коры выветривания, образованной до эпохи отложения пород формации или синхронной ей*</p>

\* Могут быть уничтожены последующим размывом.

Породы перспективных формаций, выделенные на основе учета благоприятных особенностей, должны быть подвергнуты подробному геолого-литологическому исследованию. При этом следует иметь

в виду возможность обнаружить: 1) залежи бокситов, обнажающиеся непосредственно на поверхности по линии изучаемого разреза, но не выявленные еще геологами; 2) горизонты пород, в которых можно встретить бокситы, выходящие непосредственно на поверхность в стороне от разрезов и также еще не обнаруженные геологическими или другими работами; 3) горизонты, которые по совокупности благоприятных признаков, возможно, содержат залежи бокситов, скрытые на глубине.

Основные признаки, указывающие на возможную бокситоносность карбонатной формации

Связь с элементами тектонической структуры	Приуроченность к краевым частям крупных прогибов (синклинориев)
Мощность пород формации	Преимущественно значительная, достигающая в отдельных случаях до 1000 м и более
Состав карбонатных пород формации	Преимущественно чистые известняки. Реже доломитовые известняки и доломиты. Особенно благоприятны рифогенные известняки
Наличие несогласий в толще пород, слагающих формацию	Стратиграфические, преимущественно параллельные несогласия, сопровождающиеся размывом и карстованием пород, расположенных ниже поверхности несогласия
	Поверхности размыва в толще карбонатных пород
	Породы, указывающие на наличие скрытого несогласия — маломощные прослои конгломератов, внутриформационных конгломератов и т. п.
Наличие:	Залегание среди карбонатных пород формации слоев:
пород-индикаторов бокситообразования	известняковой брекчии, сцементированной бокситовым веществом диапор-шамозитовых руд бокситовых глин каолиновых (сухарных) глин железных руд с высоким содержанием $Al_2O_3$
пород, содержащих признаки связи с корой выветривания	Залегание в толще формации слоев: конгломератов, сложенных обломками пород коры выветривания каолининовых, каолинит-галлуазитовых (гидрослюдистых) глин и аргиллитов кварцевых песков и песчаников, а также других пород, сложенных продуктами разрушения сильно выветрелых («зрелых») образований
других пород, зачатую, сопутствующих бокситам	Слоев каменного угля, углистых и битуминозных сланцев в толще карбонатных отложений

Для выяснения всех этих вопросов надлежит провести послыжное изучение пород формации, используя имеющиеся подробные описания естественных разрезов и керна скважин. Там, где соот-

ветствующий материал отсутствует, необходимо ставить работу послойному описанию естественных разрезов пород карбонатной формации и нижних горизонтов перекрывающих ее образований.

При наличии бокситопроявлений на поверхности и в других благоприятных случаях следует заложить отдельные структурные скважины для вскрытия возможных перспективных горизонтов на глубине. Разрезы пород формации следует составлять с таким расчетом, чтобы получить представление о возможной бокситоносности всех фациальных комплексов, входящих в ее состав. В ходе изучения разрезов необходимо сосредоточить основное внимание на выявлении бокситов и бокситовых пород, а также всех типов осадочных образований и особенностей пород формаций, указывающих на возможную перспективность ее. Материал, полученный при описании разрезов, должен быть подвергнут литологическому изучению с целью обнаружения бокситов и бокситовых пород, которые могли быть пропущены при работах в поле.

Само собой разумеется, что предлагаемый метод послойного изучения пород карбонатной формации и самых нижних горизонтов отложений другого состава, залегающих на карбонатных породах, предназначен для выявления возможностей нахождения осадочных бокситов, но он не может быть использован для обнаружения латеритных бокситов.

Третий этап сводится к составлению карты прогноза для возможно более краткого интервала времени, с которым связывается наибольшее количество благоприятных признаков возможной бокситоносности. К этому времени обычно приурочены небольшой перерыв в отложении осадков и кратковременный этап континентального режима в пределах региона. За основу следует принять палеогеографическую или литолого-фациальную карту района и дополнительно отразить на ней все данные, предусмотренные в предыдущих разделах.

## ГЛАВА VI

### МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПОИСКОВ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ

Сложность остаточного, вулканогенно-осадочного и осадочного рудообразования вынуждает учитывать значительное количество различных факторов и условий, определяющих ход процесса экзогенного или осадочного рудогенеза. Часть из них обуславливает возможность возникновения остаточных руд, другая определяет первичное обогащение осадков теми или иными элементами, третья контролирует возможное перераспределение первичных концентраций.

Ниже мы попытаемся кратко изложить некоторые приемы, используемые при выявлении территорий, перспективных для поисков различных осадочных месторождений. При этом будут рассмотрены полезные ископаемые, относящиеся к различным типам по генезису, условиям локализации и другим главнейшим особенностям. В предыдущей главе были приведены примеры карт прогноза на бокситовые и марганцевые месторождения, изложены основы формационного метода прогноза и поисков применительно к месторождениям геосинклинальных бокситов. Это позволяет сократить количество примеров в настоящем разделе.

## КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ОСТАТОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Коры выветривания имеют местами широкое, но крайне неравномерное распространение, что весьма осложняет работы по их прогнозу и вынуждает внимательно относиться ко всем факторам, определяющим их локализацию. При прогнозе древних кор выветривания и связанных с ними остаточных месторождений необходимо учитывать возможность проявления в районе эпох формирования кор.

В геологической истории Земли, по Н. М. Страхову, с начала кембрия и по настоящее время можно выделить десять эпох формирования кор выветривания: нижнекембрийскую, нижнедевонскую, ниже-среднекаменноугольную, триас-юрскую, нижнемеловую, на границе нижнего и верхнего мела, на границе мела и палеогена, эоценовую, верхнетретичную и современную. Высказанные Н. М. Страховым представления об эпохах формирования коры выветривания могут быть уточнены применительно к конкретным условиям отдельных регионов. Так, А. П. Сигов (1969) выделяет на Урале нижнемезозойскую (триас), верхнемезозойскую (юра — верхний мел) и палеогеновую (олигоцен) коры выветривания.

Если палеогеографические реконструкции показывают, что район, выделенный для прогноза, представлял собой сушу, то возникает вероятность обнаружения в его пределах коры выветривания соответствующего возраста. Имеется в виду, что во время эпохи корообразования климатические условия именно в этом районе были оптимальными.

Помимо климатического фактора следует также учитывать геоморфологические, структурно-тектонические и другие особенности региона. Известно, что элементы геоморфологии контролируют формирование коры выветривания, которая обычно связывается с древними или современными поверхностями выравнивания, располагающимися выше прилегающих низменностей, но ниже соседних горных сооружений. Обычно это среднегорье или плато, умеренно приподнятые по сравнению с прилегающими равнинами. Кора выветривания может располагаться непосредственно у поверхности, например, в случае современной или одной из наиболее молодых

эпох корообразования. Зачастую на поверхностях выравнивания, выраженных в современном рельефе, коры выветривания перекрыты маломощным чехлом осадочных отложений. В обоих случаях при поисках коры выветривания и остаточных месторождений можно руководствоваться высотными отметками поверхностей выравнивания в соседнем районе, где положение их определено ранее. Следует учитывать, что поверхности выравнивания могут быть разбиты разрывными нарушениями, приподняты на различную высоту, а в соседних блоках опущены и перекрыты мощным комплексом осадочных отложений. Все эти и другие особенности локализации молодых кор выветривания, связанных с элементами современного рельефа, должны быть выявлены в результате геоморфологических исследований, предшествующих проведению прогнозных работ.

Уже упоминалось, что коры выветривания, перекрытые осадочными образованиями, следует искать в разрезах ниже поверхностей несогласия. Причем внутрiformационные несогласия мало перспективны, если они разделяют толщу осадочных пород. В этом случае ниже поверхности размыва располагаются осадочные породы, которые отлагались в условиях, близких к условиям формирования коры выветривания. Последняя имеет небольшую мощность и мало перспективна в отношении поисков полезных ископаемых.

Если ниже поверхности размыва располагаются магматические породы, связанные, например, с трапповой формацией, то образующаяся кора выветривания может иметь значительную мощность и содержать полезные ископаемые даже в случае кратковременного перерыва.

Перспективны коры выветривания, приуроченные к границе между нижним и верхним структурными этажами платформ или между структурными этажами и ярусами в складчатых областях. В этих случаях кора выветривания, располагающаяся ниже поверхности несогласия, формируется на породах разного состава, в том числе на магматических и метаморфических образованиях. Последние легко поддаются выветриванию, как и некоторые типы осадочных пород, и формирующаяся на них кора обладает значительной мощностью и может включать различные полезные ископаемые остаточного генезиса.

Особенно перспективны коры выветривания на складчатом основании платформ, если перекрывающие толщи чехла значительно моложе пород основания. В этом случае имел место длительный континентальный перерыв, в течение которого кора выветривания могла формироваться в течение одного длительного акта или нескольких, что обеспечивало ее высокую продуктивность. В качестве примера можно сослаться на коры выветривания, развитые на Урале, где происходило длительное и, возможно, неоднократное разложение материнских пород герцинского основания при выветривании в более поздние эпохи, в частности в нижнем и верхнем мезозое и в палеогене.

Формирование площадной коры выветривания может осуществляться независимо от наличия более древних разрывных нарушений, однако в ряде случаев обнаруживает связь с ними. Распространение линейных кор выветривания контролируется линиями разрывных нарушений, зонами трещиноватости и смятия, учет которых необходим при прогнозе кор этого типа.

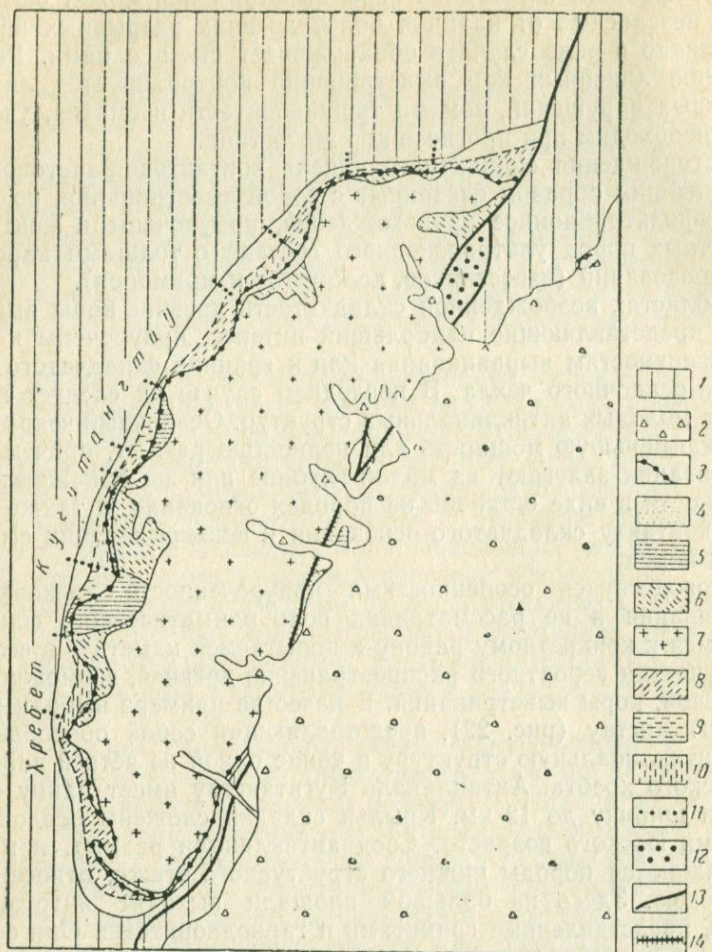
Месторождения силикатного никеля контактово-карстового типа, теснейшим образом связанные с корой выветривания, но имеющие инфильтрационное происхождение, приурочены к контактам силикатных пород ультраосновного состава с толщами карбонатных образований (известняков, доломитов и мраморов).

В областях возрожденной складчатости древние коры выветривания, представляющие наибольший интерес, приурочены к древним поверхностям выравнивания или к границе складчатого основания и осадочного чехла. В последнем случае их следует искать в ядрах молодых антиклинальных структур. Осадочный чехол здесь имеет наименьшую мощность или полностью размыт, причем коры выветривания залегают на малой глубине или же обнажаются на поверхности в виде останцов на породах основания, а также полосы по контакту складчатого основания и перекрывающих его осадочных пород.

Руководствуясь особенностями приуроченности древних кор выветривания и не рассматривая роль климатического фактора, обратимся к конкретному району и попытаемся наметить в его пределах участки вероятного распространения древней, возможно бокситоносной, коры выветривания. В качестве примера выбран район гор Кугитангтау (рис. 22), представляющий собой обособленную брахиантиклинальную структуру в конце одной из ветвей виргации Гиссарского хребта. Антиклиналь Кугитангтау имеет длину около 35 км и ширину до 12 км. Крылья складки сложены осадочными породами юрского возраста. Свод антиклинали размыт, и в ядре ее обнажаются породы нижнего структурного этажа, относящиеся к палеозою. Здесь на большой площади выходят интрузивные породы, представленные гранитами и гарнодиоритами. Они богаты кварцем и мало благоприятны для формирования пород латеритной коры выветривания, бедных кремнекислотой и богатых свободным  $Al_2O_3$ .

На поверхности интрузива, относящегося по времени внедрения к среднему карбону, местами сохранились песчано-глинистые и эффузивные образования визейского яруса нижнего карбона, а также слабо метаморфизованные сланцы докембрийского возраста. Они распространены в виде узких полос и мелких пятен, главным образом по периферии массива.

Докембрийские и визейские породы интенсивно дислоцированы и представляют собой образования нижнего структурного этажа, на которых можно ожидать латеритную кору выветривания и остаточные бокситы, залегающие под триасовыми и юрскими образованиями и уцелевшие от размыва. Отложения триасового



**Рис. 22. Схема локализации и прогноз распространения древней коры выветривания в районе хр. Кугитангау**

1 — осадочные отложения средней и верхней юры; 2 — области выветривания нижней юры (обломочные породы, аргиллиты и уголь), в пределах которых не выделены коры выветривания на древних породах разных типов, залегающих под чехлом юрских отложений (восточная часть района); 3 — нижняя граница нижнеюрских отложений (в западной части района); 4 — породы рэтского яруса (конгломераты, песчаники, аргиллиты, бокситы); 5 — отложения визейского яруса нижнего карбона (конгломераты, известняки, песчаники, порфириты и их туфы); 6 — метаморфические породы докембрия (сланцы, мраморы, гнейсы); 7 — граниты и гранодиориты среднекаменноугольного комплекса; 8—10 — предполагаемые области распространения коры выветривания, залегающей в западном крыле складки под нижней частью нижнеюрских пород и развитой на: интрузивных породах среднего карбона (8), осадочных и эффузивных породах нижнего карбона (9), метаморфических породах докембрия (10); 11 — возможные границы распространения кор выветривания на различных породах под нижнеюрскими образованиями; 12 — область предполагаемого распространения пород коры выветривания, залегающей под породами нижней юры и развитой на интрузивных породах в восточном крыле складки; 13 — линии разрывных нарушений; 14 — предполагаемые области распространения линейной коры выветривания

возраста, местами сохранившиеся от размыва, представляют собой главным образом обломочные и грубообломочные породы, образовавшиеся за счет разрушения материнских пород палеозоя и развивавшейся на них коры выветривания. К юре относится мощная толща осадочных пород: песчаников, алевролитов, известняков и т. п.

На рис. 22 выделены породы нижнего структурного этажа, а также образования, слагающие осадочный чехол и представленные отложениями триасового и юрского возраста. Полоса распространения пород нижней юры является областью, где предполагаемая кора выветривания может залегать на наименьшей глубине (до 300 м) от поверхности земли. На рис. 22 отмечены узкие полосы, где кора выветривания может быть встречена под покровом юрских отложений на глубине до 150—160 м. Все они находятся в зоне распространения нижней части нижнеюрских отложений. Область распространения верхней части нижнеюрских отложений не выделена штриховкой, в ее пределах границы возможных площадей распространения коры выветривания, развитой на различных породах, обозначены пунктиром. Кора выветривания располагается здесь на глубинах от 150 до 320 м.

Исходя из расположения выходов на поверхности и условий залегания пород проинтерполированы те площади, где под покровом юрских отложений можно ожидать интрузивные образования, отложения докембрия и нижнего карбона. В соответствии с этим показаны границы участков, где предполагается развитие коры выветривания на гранитах, коры и бокситов на осадочных и эффузивных образованиях виле (см. рис. 22, 9), метаморфических породах докембрия (см. рис. 22, 10). Таким образом, приуроченность кор выветривания к определенным элементам тектонической структуры и к границе между комплексами пород может быть использована для прогноза их распространения.

Продуктивность коры выветривания, выявленной в пределах того или иного региона, зависит прежде всего от характера материнских пород и от того, какие рудные элементы в них содержатся. В связи с этим прогнозные заключения на месторождения остаточных руд следует давать с учетом петрографии пород, развитых в районе, и особенностей их вещественного состава.

Помимо состава материнских пород и содержания в них полезного компонента при прогнозах необходимо учитывать зональность коры выветривания, так как рудные концентрации, как правило, приурочены к определенным ее зонам. Так, латеритные бокситы повсеместно в тропических областях приурочены к верхней зоне — зоне конечного гидролиза (или каолинит-гипбоситовой). С зоной охр коры выветривания ультраосновных пород связаны железорудные месторождения (Елизаветинское на Урале, Конакри в Гвинее). К ней же и к зоне нонтронитов тяготеют в большинстве случаев месторождения силикатного никеля.

Если в районе не сохранились от размыва верхняя зона коры выветривания на габбро, то поиски остаточных железных руд и бок-

ситов среди пород формации коры выветривания бесперспективны. Формация же осадочных отложений, образовавшихся за счет перетложения породы верхних зон коры выветривания, представляет существенный интерес. Имеются все основания ожидать в ее составе концентрации осадочных руд железа, бокситов и некоторых других полезных ископаемых.

Изучать зональность коры выветривания можно в отдельных разрезах, однако исчерпывающий материал будет получен при систематическом ее картировании. В ходе этой работы на карте выделяют области распространения кор выветривания, развитых на породах разных типов, а также минеральные или геохимические зоны. Анализируя взаимное расположение их, можно достаточно обоснованно прогнозировать месторождения тех или иных остаточных полезных ископаемых.

Наиболее крупными и перспективными инфильтрационными месторождениями, связанными с корой выветривания, являются контактово-карстовые, формирующиеся вблизи тел гипербазитов. Поиск этих месторождений следует вести в районах развития пород ультраосновного состава, контактирующих с карбонатными образованиями.

## РОССЫПНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Фация россыпей связывается с различными типами осадочных образований как континентального, так и морского происхождения. В обоих случаях формирование россыпей происходит за счет естественного шлихования терригенного материала, которое представляет собой особую разновидность процесса дифференциации минерального вещества при его движении на земной поверхности. Это движение может происходить при переносе обломочного материала поверхностными водами, не связанными с определенным руслом, — дождевыми или образующимися при таянии снега, а также временными потоками, водная масса которых приурочена к более или менее разработанным долинам с четко выраженным водотоком на дне и в долинах рек. В морских и озерных водоемах в прибрежной зоне также осуществляется дифференциация обломочного материала под влиянием прибоя и движения воды, обусловленного течениями. Помимо этого, естественное шлихование имеет место в результате деятельности льда и ветра.

Россыпи весьма разнообразны, причем в отложениях каждого генетического типа формируются свои месторождения. В. И. Смирнов (1969) выделяет следующие классы россыпных месторождений: 1) элювиальный; 2) делювиальный; 3) пролювиальный; 4) аллювиальный, разделяющийся на подклассы: косовой, русловый; долинный, дельтовый и террасовый; 5) латеральный, разделяющийся на прибрежно-озерный, прибрежно-морской и прибрежно-океа-

нический подклассы; 6) гляциальный с моренным и флювиогляциальным подклассами; 7) эоловый, или дюнный. В класс 6 можно было бы прибавить еще подкласс солифлюкционных россыпей. Наибольшее практическое значение имеют аллювиальные россыпи как современные, так и погребенные, а также прибрежно-морские россыпные месторождения. При работах по прогнозу новых перспективных площадей необходимо учитывать прежде всего наличие в их пределах коренных пород, содержащих металл, а также физические свойства рудных минералов, их твердость, устойчивость к истиранию, плавучесть и т. п.

Россыпные месторождения связываются с эпохами развития мощной коры выветривания, когда формируются элювиальные россыпи и, кроме того, состав исходных пород как бы подготавливается для формирования россыпей другого типа. Наиболее перспективные россыпи образуются позднее, когда происходит размыв и переотложение как всей массы продуктов выветривания, содержащих устойчивые рудные минералы, так и элювиальных накоплений последних. Поэтому время интенсивного выветривания и образования коры на материнских породах, а также последующего размыва ее можно рассматривать в качестве специфической рудной эпохи формирования россыпных месторождений.

Выше были перечислены основные эпохи корообразования в истории Земли, по Н. М. Страхову. Терригенные отложения, соответствующие эпохам образования коры выветривания, равно как и толщи, залегающие в разрезах непосредственно на них, при других благоприятных условиях могут рассматриваться в качестве перспективных для поисков россыпей.

На платформах главная часть россыпных месторождений в структурном отношении прямо или косвенно связана со щитами и крупными антеклизмами или со складчатым обрамлением платформ. Так, на Русской платформе подавляющее число их тяготеет к Украинскому щиту, к Воронежской и Тиманской антеклизмам. Россыпи приурочиваются также и к другим структурным элементам платформ, однако здесь они залегают в менее благоприятных условиях, будучи перекрыты мощной толщей осадочных отложений.

К складчатому обрамлению тяготеют россыпные месторождения, расположенные, например, вдоль западной границы Урало-Сибирской эпигерцинской платформы, образовавшиеся за счет минерального материала, поступавшего с восточного склона Уральской горной страны.

В древних областях завершенной складчатости, претерпевших несколько этапов развития рельефа, большое значение приобретает приуроченность россыпей к древним поверхностям выравнивания (элювиальные россыпи), древним террасам, погребенным ложбинам стока и другим элементам палеорельефа. В этом отношении большой интерес представляют россыпные месторождения Урала, которые, согласно А. П. Сигову (1969), отчетливо связаны с эрозионно-структурными депрессиями (рис. 23).

В области развития траппового магматизма появляется новый источник рудных минералов и россыпи располагаются непосредственно на телах основных пород (при элювиальном процессе) и в осадочных толщах (при седиментационном).

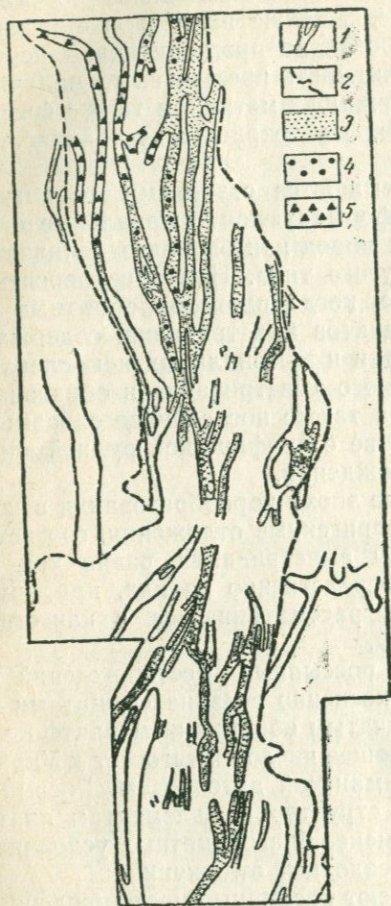


Рис. 23. Основные зоны векового накопления ценных компонентов на Урале (по А. П. Сигову, 1969)

1 — мезозойские эрозионно-структурные депрессии; 2 — границы Урала с Предуральем и Зауральем; зоны векового накопления: 3 — золота; 4 — платины; 5 — алмазов

Россыпные месторождения связаны с элювиально-осадочным комплексом пород, включающим формацию коры выветривания и соответствующие ей две формации терригенных осадочных отложений: 1) формацию континентальных аллювиально-озерных (делювиально-пролювиальных) образований и 2) формацию прибрежно-морских терригенных осадков. При работах по прогнозу россыпных месторождений особое значение приобретает составление вспомогательной литолого-фациальной карты. На ней должны найти отражение особенности распределения основных типов ископаемых осадков, в частности прибрежных отложений, с которыми обычно связаны россыпи.

При прогнозе россыпей в пределах новых территорий особое значение приобретает шлиховое опробование антропогенных отложений различных генетических типов. В случае прогноза ископаемых россыпей необходимо помимо учета геологических, палеогеоморфологических и других данных провести детальное опробование пород различных фациальных типов в рудовмещающей формации.

В обоих случаях составляют возможно более детальные карты шлихового опробования. Металлогеническую прогнозную карту составляют путем совмещения на ней основных элементов, перенесенных с шлиховой и других вспомогательных карт.

*Элювиальные россыпи.* Их следует искать в пределах зоны остаточных месторождений (I зона). Они сохраняются в составе формации коры выветривания на участках, отличающихся умеренно

высоким рельефом, в отдалении от ложбин стока эрозионной сети. Важнейшим условием образования элювиальных россыпей является наличие материнских пород благоприятного состава, обогащенных устойчивыми минералами.

Чтобы наметить площади, перспективные для поисков элювиальных россыпей, необходимо выделить участки, сложенные материнскими породами, содержащими устойчивые рудные минералы. Кроме того, желательно по возможности полно реконструировать древний рельеф и составить его карту. В разрезе осадочных отложений ископаемые элювиальные россыпи располагаются ниже трансгрессивной серии непосредственно под поверхностью размыва, в составе коры выветривания верхней части пород нижнего структурного этажа или яруса.

Аллювиальные, делювиальные, пролювиальные, дельтовые и другие россыпи развиты среди отложений соответствующих типов, входящих в состав формации терригенных аллювиально-озерных отложений. Их следует искать в пределах второй зоны, однако они могут образовываться и в пределах первой зоны, где наряду с образованием коры выветривания осуществляется процесс осадконакопления. Накопление рудных минералов приурочено в основном к началу области отложения кластического материала поверхностными водами, размывающими рыхлые подготовленные выветриванием материнские породы, а также элювиальные россыпи.

*Делювиальные и пролювиальные россыпи.* Приурочены к толще делювия и делювиально-пролювиальных отложений, располагающихся в общем случае в виде шлейфа по окраине возвышенностей, относящихся к зоне формирования остаточных образований и примыкающего к ней накопления осадочных отложений. Россыпи ориентированы, как правило, поперек этого шлейфа и располагаются в виде струй, протягивающихся вниз по склону от коренных выходов (в комплексе делювиальных отложений) и в направлении напластования пород (в пролювиальных конусах выноса).

*Аллювиальные россыпи.* Связаны с различными типами речных отложений и ориентируются в целом поперек второй зоны седиментации и рудообразования. Аллювиальные россыпи могут формироваться за счет накопления рудных минералов, передвигающихся по дну перекатыванием, волочением, а также сальтацией. Все эти процессы преобладают в верховьях рек и в среднем течении. Фация россыпных отложений представлена в этом случае преимущественно грубозернистыми песчаными породами с гравием, галькой и зачастую с крупнообломочным угловатым материалом, содержащими примесь рудных минералов.

Наряду с этим существуют россыпи, образованные в результате отложения из взвеси, транспортируемой водной артерией. Они локализируются главным образом в нижнем течении реки, в ее дельте и в приустьевой части. В этих условиях отложения фации россыпей

представлены мелкозернистыми песками, содержащими примесь алевритового и глинистого материала. Они накапливаются в тех местах, где замедляется скорость течения речной воды.

Россыпные месторождения весьма разнообразны по рудным минералам, генетическим типам, форме залежей и другим особенностям. Поэтому необходимо дифференцированно подходить к прогнозу районов и участков, перспективных для поисков россыпей различного типа. Ниже будет излагаться материал применительно главным образом к прогнозу золотоносных россыпей.

Геологами разработан метод оценки «по длине золотоносной гидросети». Сущность этого метода, согласно Н. А. Шило и др., состоит в сравнительном анализе разведанных золотоносных долин конкретного района с неразведанными, но перспективными как по геологическим данным, так и по данным шлихового опробования, которые расположены в этом же районе. Прогнозирование проводится на основе крупномасштабных комплексных карт золотоносности, на которых отражены сведения по геологии, геоморфологии, гидрогеологии, поисковым, разведочным и эксплуатационным работам.

В связи с тем что эти карты содержат исключительно большой объем информации, последняя распределяется с учетом важности тех или иных сведений и «разрешающей» способности карт. Так, геологическая нагрузка охватывает лишь водораздельные пространства, выполняя роль фона, и дается в упрощенном варианте, позволяющем, однако, судить о закономерностях размещения коренных источников питания россыпей.

Геоморфологическая нагрузка карт приурочивается главным образом к речным долинам, т. е. к участкам, с которыми в большей мере связаны процессы непосредственного формирования россыпей золота. На картах показываются все формы эрозионного рельефа, а также формы денудационного, карстового и ледникового происхождения.

Данные о полезных ископаемых и поисково-разведочных работах являются наиболее существенной частью карт золотоносности и россыпей. Месторождения и рудопроявления золота характеризуются с точки зрения генетических, структурно-морфологических и количественных признаков, т. е. с позиций, позволяющих оценить возможность и роль их участия в формировании россыпей. Гораздо детальнее и шире на картах отражаются данные по россыпной золотоносности. Они дают полное представление о морфологии и положении россыпей, глубине их залегания, характере распределения в них золота по вертикальным запасам, пробности и крупности, о наличии сопутствующих компонентов и т. п.

Для прогнозной оценки золотоносности районов, для которых имеются единичные определения продуктивности осадочных отложений, можно использовать методику поэтапного исследования условий россыпеобразования, предложенную С. С. Четвертковым. Она основана на анализе каждого фактора россыпеобразования.

Соответственно этому прогнозирование россыпей проводится в шесть стадий.

*Первая стадия.* Изучаются геолого-структурные предпосылки золотого оруденения (размещение рудных тел, состав и глубина их формирования, металлогения зон разломов, геохимические условия высвобождения золота из коренных источников и т. п.). Учитывается, что россыпь образовалась за счет верхней части рудного тела, а сохранившаяся его нижняя часть может быть незолотоносной. Поэтому выявляются геохимическая вертикальная и горизонтальная зональность оруденения и степень среза продуктивного горизонта. Полнота высвобождения золота из коренных источников определяется сульфидизацией руд и вмещающих пород.

По геолого-структурным предпосылкам и полноте высвобождения золота намечаются участки с предполагаемыми промышленными россыпями. Затем проводится градация этих предпосылок по трехбалльной системе (1 балл — для малоблагоприятных участков, 2 балла — для благоприятных и 3 балла — для наиболее благоприятных).

*Вторая стадия.* Обобщаются все геологоразведочные материалы. Определяется степень разведанности и достоверность проведенных работ. Для выяснения особенностей строения месторождений строятся модели россыпей. Они представляют собой графическое совмещение продольного литологического разреза с основными параметрами россыпей.

Участки со знаковыми и весовыми шлиховыми пробами оцениваются в 1 балл; участки с единичными промышленными выработками — в 2 балла и участки с промышленными линиями — в 3 балла.

*Третья стадия.* Определяется степень эрозионного среза к моменту корообразования. Для этого используются, кроме общепринятых геологических приемов, морфометрический метод В. П. Философова применительно к горноскладчатым областям. При интерпретации карты базисных поверхностей и карты их разностей восстанавливается динамика развития структур в рудный этап. Это позволяет установить:

1) что при интенсивных тектонических подвижках золоторудный горизонт уничтожается еще до корообразования; на этих участках россыпей, как правило, нет;

2) что при слабых поднятиях вскрывается часть надрудного горизонта и образуются бедные россыпи;

3) что при восходящих движениях, вызывающих срез всего надрудного горизонта, корообразование развивается по рудному телу, высвобождая золото для богатых россыпей.

На данной стадии градация фактора влияния эрозионного среза на продуктивность россыпей проводится так: 1 балл — для первого случая, 2 балла — для второго и 3 балла — для третьего.

*Четвертая стадия.* Устанавливаются характер и влияние неотектонических движений на размещение и концентрацию металла в

россыпях. Для поэтапного неотектонического анализа использован метод составления карт порядковой изоплотности гидросети. По мелкомасштабным картам порядковой изоплотности гидросети определяют степень неотектонической активности и соответствующую ей степень эрозионного среза. Имея данные по металлогении провинции, проводят выделение золотоносных районов и разбраковку их по продуктивности в зависимости от интенсивности неотектонических движений. Затем для каждого перспективного района составляют среднекрупномасштабные карты порядковой изоплотности гидросети, по которым оценивают влияние новейших движений на продуктивность россыпей. Оценка основана на сопоставлении карт с моделями известных в районе россыпей. Оценочные критерии таковы: 1 балл — малопродуктивные участки (зоны прогибаний), 2 балла — продуктивные участки (поднимающиеся блоки), 3 балла — весьма продуктивные участки (зоны разномещенных блоков).

*Пятая стадия.* Изучается палеогеоморфологическая обстановка и влияние ее на захоронение россыпей. Для распознавания условий захоронения россыпей составляют две геоморфологические карты: 1) карту элементов генетически однородных форм рельефа и 2) карту морфогенетических типов рельефа.

Геоморфологические факторы оценивают по трехбалльной системе: участки с нормальной мощностью аллювия и «преобразованными» россыпями — 1 балл; участки со слабой переработкой аллювиального материала с первичными и вторичными россыпями — 2 балла; участки древнего рельефа с первичными аллювиальными россыпями — 3 балла.

*Шестая стадия.* Проводится количественное прогнозирование. Для этого сначала по сумме изученных предпосылок намечают перспективные зоны. Затем бассейн каждой крупной долины в пределах этой зоны оценивают по пяти условиям россыпеобразования. Допустим, один участок характеризуется порядком баллов 3, 2, 1, 3, 3 и продуктивность его россыпей составляет 600 кг/км, а другие участки не разведены, но анализ условий россыпеобразования дал аналогичный порядок баллов. Тогда возможно подсчитать прогнозные запасы по данной группе участков. Измеряют длину всех долин третьего-пятого порядка (по В. П. Философову) на этих участках в пределах перспективной зоны и полученную сумму умножают на продуктивность. Таким же образом подсчитывают запасы по другим группам участков.

Влияние различных факторов на продуктивность россыпей неодинаково, поэтому для новых участков прогнозируемую продуктивность определяют путем систематизации порядка цифр трехбалльной системы.

Данная методика эффективна для выяснения закономерностей размещения россыпей и обеспечивает более надежный прогноз по тем районам, где имеются хотя бы единичные сведения о продуктивности месторождений.

Марганец дает многочисленные типы рудных месторождений и накоплений в поверхностной зоне земной коры (рис. 24).

А. Г. Бетехтин (1946) выделил семь эпох (и провинций), характеризовавшихся накоплением марганцевых руд. Н. М. Страхов и др. (1968), анализируя стратиграфическое распределение марганцевых месторождений, устанавливают только четыре промежутка времени, с которыми связаны осадочные марганцевые месторождения: пермь и пермо-триас, палеоцен, олигоцен, четвертичный и современный. Под вопросом пятый — миоцен. При этом авторы,

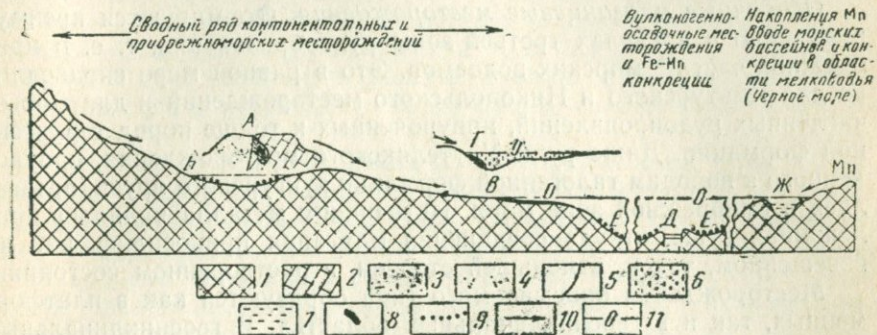


Рис. 24. Рудные месторождения и накопления марганца

1 — коренные породы нерасчлененные; 2 — карбонатные породы; 3 — выполения карстовых депрессий; 4 — кора выветривания ультраосновных пород; 5 — линии разрывных нарушений; 6 — вода солеродного бассейна; 7 — накопления марганца, растворенного в воде; 8 — рудные накопления; 9 — конкреции; 10 — направление переноса марганца; 11 — уровень океана. Руды и накопления марганца, связанные с формацией континентальных образований: А — в карстовых депрессиях; В — озерные; С — прибрежно-морские, связанные с формацией терригенных отложений; Г — приуроченные к галогенной формации; Д — гидротермально-осадочные, связанные с вулканогенно-осадочным комплексом; Е — марганцевые конкреции океанов; Ж — накопления в воде застойных бассейнов

базируясь на материалах других исследователей, отнесли некоторые месторождения спорного генезиса, скорее являющиеся седиментационными образованиями (Усинское, Тахта-Карача и некоторые другие), к числу вулканогенно-осадочных. В связи с этим резко сократилось количество эпох формирования седиментационных или седиментационно-диагенетических рудных накоплений. Что касается вулканогенно-осадочных, то они, по мнению упомянутых авторов, образуются, по сути дела, в течение каждого из периодов фанерозоя, но не обладают существенными запасами металла.

Не останавливаясь на рассмотрении имеющихся расхождений, касающихся главным образом второстепенных месторождений, можно полагать, что на территории СССР проявились три основные рудные эпохи, с которыми связаны крупные марганцевые месторождения. Это девонская эпоха главным образом вулканогенно-осадочного рудообразования, а также кембрийская и палеогеновая, характеризующиеся формированием месторождений осадочных

марганцевых руд. Сказанное не исключает того, что в течение других известных и достаточно обоснованных эпох возможно обнаружение месторождений марганца. Весьма вероятно, что существовали еще не выявленные эпохи продуктивного марганцевого рудообразования и стратиграфические уровни, с которыми связываются месторождения марганца. Все это необходимо учитывать при работах по прогнозу.

В соответствии с обилием типов марганцевых месторождений многообразны и методы прогноза и поисков этого металла. Наиболее перспективны и интересны осадочные месторождения Усинского и Чиатурского типов и вулканогенно-осадочные месторождения Караджальского типа.

*Осадочные марганцевые месторождения.* Формируются преимущественно в пределах третьей зоны рудообразования, т. е. в прибрежной части \* морских водоемов. Это в равной мере справедливо для Чиатурского и Никопольского месторождений и для многочисленных рудопоявлений, приуроченных к толще пород терригенной формации. Даже руды Улутелякского месторождения, приуроченного к породам галогенной формации кунгурского яруса, отлагались в прибрежной зоне моря. Источником металла являлась прилегающая суша, откуда соединения марганца приносились как во взвешенном, так и, в меньшей степени, в растворенном состоянии.

Месторождения описываемого типа образуются как в платформенных, так и в геосинклинальных областях. В геосинклинальных системах Кавказа и Мангышлака они связаны с глинистыми отложениями майкопской серии, представляющими собой типичную терригенную формацию предорогенной стадии развития геосинклинальной области. На платформах эти месторождения приурочены к формации морских терригенных отложений. Большое Токмакское и Никопольское месторождения приурочены к терригенным отложениям олигоцена, которые в сопряженной части Среднеземноморской геосинклинали замещаются породами майкопской серии. Полуночное, Марсятское и другие марганцевые месторождения Зауралья связаны с терригенной формацией, образованной в результате трансгрессии палеоценового моря.

Марганцевые месторождения чиатурского типа связаны с формацией морских терригенных отложений, породы которой накапливались в относительно стабильной области в пределах геосинклинали (Чиатура) и в краевой части Русской платформы (Никополь).

Согласно А. Г. Бетехтину, в области отложения устанавливается следующая первичная фациальная зональность рудных накоплений начиная от берега в сторону открытой части водоема: окисные руды содержащие двуокись марганца и представлявшие собой осадки фации так называемых первичноокисных рудных накоплений; в дальнейшем за их счет происходило формирование псиломелановых руд, широко распространенных на осадочных месторождениях.

\* Накопление марганцевых конкреций на дне современных океанов рассматривается в следующем разделе.

В зоне седиментации, но в несколько более восстановительных условиях, которые устанавливаются на дне более глубоких частей водоема, где в придонном слое воды содержится меньше кислорода, рудные илы содержат больше двухвалентного марганца, а также, возможно, соединения трехвалентного марганца. В этой зоне морского дна рудные илы, вероятно, имеют манганитовый состав. С течением времени первичные рудные накопления превращаются в руды манганитовой фации марганцевых месторождений. Помимо манганита ( $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$ ) встречается также некоторое количество минералов двуокиси марганца.

В наиболее глубоководной части бассейна, где в придонной воде господствуют восстановительные условия, марганец накапливается в двухвалентной форме обычно в виде карбонатов: родохрозита ( $MnCO_3$ ), мангаокальцита ( $CaMn$ ) $CO_3$  или олигонита ( $MnFe$ ) $CO_3$ . В результате диагенетических преобразований они превращаются в руды карбонатной фации, наиболее удаленной от берега.

В отличие от А. Г. Бетехтина Н. М. Страхов и др. (1968) полагают, что отложений фации первичных окисных рудных образований на Никопольском, Чиатурском и некоторых других изученных месторождениях вообще не существовало, а близ берега древнего водоема отлагались осадочно-диагенетические карбонатные руды. Псилломелановые руды, широко развитые на этих месторождениях, тракуются упомянутыми авторами как результат окисления карбонатных руд в зоне выветривания. Эта новая точка зрения должна быть подтверждена детальными минераграфическими исследованиями, которые могли бы убедительно показать развитие окисных минералов именно по карбонатам марганца и по манганиту. В разрезе осадочных отложений месторождения описываемого типа располагаются преимущественно в основании трансгрессивных серий. При работах по прогнозу новых месторождений марганцевых руд следует исходить из того, что они формировались недалеко от берега морского водоема. Различные точки зрения А. Г. Бетехтина и Н. М. Страхова в этом сходятся между собой. По Н. М. Страхову, марганцевые руды тяготеют к фации прибрежных отложений: алевроитовых в Чиатуре и глинистых в Никополе. В сторону берега они переходят в песчаные осадки, а в противоположном направлении — в глинистые.

Широкое распространение и большие массы марганцевых руд описываемого типа обязаны удачному сочетанию трех историко-геологических условий: «...наличию в пределах этого региона больших, выходящих на поверхность площадей пород с повышенным содержанием марганца (2—10 кларков); затем регионально выраженные поднятия конца эоцена — начала олигоцена, уничтожившие верхние кислые горизонты развитой к тому времени зрелой коры выветривания и обнажившие более низкие ее горизонты, находившиеся на щелочной стадии; и, наконец, длительное удержание элювия на этой щелочной стадии, что было обусловлено продолжением

поднятий, сочетавшихся с похолоданием климата в одних местах и некоторой ксерофитизацией его — в других» (Страхов и др., 1968). Эти и другие условия, равно как и данные по содержанию марганца в породах и фациальные особенности отложений, необходимо учитывать при работах по прогнозу. Разрез предполагаемой рудовмещающей формации должен быть изучен в отношении содержания марганца в породах различных типов и особенно в породах, отлагавшихся в области мелководья в третьей зоне. Дальнейшие работы по прогнозу следует вести применительно к выявленным перспективным горизонтам в составе формации.

В качестве основы для прогноза месторождений чиатурского типа необходимо составить палеогеографическую карту для времени, соответствующего накоплению пород перспективного горизонта. В части, касающейся древней суши, на эту карту желательно нанести возможные источники металла, существовавшие в эпоху рудонакопления: магматические и другие породы, обогащенные марганцем; распространение кор выветривания и, если возможно, элементы палеогеоморфологии — распространение древних ложбин стока, речных долин и других элементов погребенного рельефа. В области древнего морского водоема необходимо выделить литологические типы отложений и, что самое главное, наметить области распространения прибрежных фаций и дать их подробную литологическую характеристику, поскольку именно к этим фациям тяготеет оруденение.

В качестве другой вспомогательной карты следует составить металлогеническую карту, показав на ней все месторождения и рудопроявления марганца, известные в районе. На нее следует перенести все данные по содержанию марганца и его геохимии в породах горизонта на площади района и в пределах вероятной области питания.

На результирующую карту прогноза должен быть перенесен весь материал с вспомогательных карт. Его анализ позволит наметить основные направления поисковых работ и выделить перспективные площади, которые должны быть особым знаком показаны на карте.

*Марганцевое оруденение вулканогенно-осадочного происхождения.* Данное оруденение проявляется в отложениях различных формаций вулканогенно-осадочного комплекса. Марганцевые месторождения этого типа не обнаруживают закономерной связи с элементами описанной в главе IV зональности в распространении рудных накоплений на платформах. Причина кроется в том, что рудный компонент поступает не из коры выветривания и не в результате выщелачивания из материнских пород на поверхности, а из эндогенного источника.

Часть марганцевых месторождений связана с геологической формацией осадочных кремнисто-карбонатных образований (караджальский тип). Другая приурочивается к формациям вулканогенных образований (магнитогорский тип).

Весьма перспективные месторождения караджальского типа связаны с девонской эпохой рудообразования. Они приурочены к толще специфических известняков, окрашенных в различные оттенки красного цвета и характеризующихся своеобразной волнистой слоистостью, образовавшейся за счет тонких слоев глинистого материала. Толща, относящаяся к верхней части фаменского яруса, может быть с полным основанием выделена в качестве особой формации рудовмещающих карбонатных пород, составляющей часть геологической формации кремнисто-карбонатных пород и тесным образом связанной с эффузивными и пирокластическими толщами, и отнесена вместе с ними к мощному вулканогенно-осадочному комплексу верхнего девона. Все карбонатные породы формации отличаются повышенным содержанием марганца.

Марганцевые месторождения Караджал, Ктай, Джайрем и другие тяготеют к крыльям Джаильминской мульды, в ядре которой выходят породы каменноугольного возраста.

С марганцевыми рудами почти всегда находятся в ассоциации руды железа, а также накопления свинца и цинка; последние то составляют незначительную примесь в породах, то скапливаются в больших массах и дают самостоятельные свинцово-цинковые месторождения. Их образование также происходило в прибрежной зоне, но в небольших углублениях дна, где в застойных условиях накапливались преимущественно илистые отложения. Не исключено, что свинцово-цинковое оруденение является гидротермальным и несколько более поздним, чем железное и марганцевое.

Месторождения марганцевых руд описываемого типа следует относить к категории гидротермально-осадочных, частью, возможно, эксгальационно-осадочных. Рудные компоненты накапливались в водоеме на значительном расстоянии от очагов извержений. Они поступали из подводных горячих источников или фумарол подобно тому, как это происходит в кальдере вулкана Санторин. Соединения марганца и других металлов, оказавшись в физико-химической обстановке морской воды, быстро переходили в твердую фазу и отлагались на дне, формируя своеобразные илы различных фациальных типов. В соответствии с этим в настоящее время устанавливается (Калинин, 1967) следующая смена фаций железных и марганцевых руд: яшмы и окисные железные руды, железо-марганцевые окисные руды, марганцевые окисные руды, марганцевые карбонатные руды. Ближе всего к источникам минеральных компонентов располагалась фация, осадки которой дали яшмы и окисные железные руды, дальше всего — карбонатные рудные илы. Источники рудных компонентов, по крайней мере на Караджальском месторождении, располагались, по-видимому, в зоне небольших взбросов, но, вероятно, за пределами рудного поля.

Благодаря особенностям тектонической структуры и приуроченности известных месторождений в современном срезе к крыльям мульды, куда пространственно относились и берега палеобассейна, создается впечатление о приуроченности месторождений только

к прибрежной зоне. Имеются все основания ожидать их и в удалении от берега в области ядра складки, но здесь они располагаются на очень больших глубинах.

При составлении карты прогнозов на месторождения описываемого типа следует базироваться на металлогенической и других вспомогательных картах района. На металлогенической карте, выполненной на геологической основе, должны быть отражены все известные месторождения и рудопроявления. На карте или на накладках к ней необходимо показать распределение марганца, а также сопутствующих ему элементов: железа, свинца, цинка и др. Особо следует выделить рудовмещающую формацию (или подформацию) карбонатных отложений, к которой приурочены скопления марганцевых и других руд как в пределах района, так и на смежных территориях. Подобные рудовмещающие формации возникают в наложенных мульдах при ослаблении эффузивной деятельности на завершающей стадии геосинклинального развития региона перед превращением его в ороген (Сапожников, 1963). Они подробно описаны А. А. Рожновым, Г. Н. Щерба и другими исследователями на примере марганценосных отложений Джайльминской мульды и смежных районов Центрального Казахстана.

При поисках месторождений описываемого типа особое значение имеют геофизические методы. Поэтому на металлогенической карте или на накладках к ней необходимо отразить известные геофизические аномалии. Вспомогательная палеогеографическая карта должна быть составлена для времени отложения карбонатных пород рудовмещающей формации. На ней следует выделить границы области седиментации, показать распределение в ее пределах фаций осадочных и вулканогенно-осадочных отложений как наземных, так и подводных, наметить источники осадочного, в частности терригенного, а также пирокластического и другого вулканогенного материала. Желательно выделить местонахождение древних вулканических аппаратов и мест вероятного расположения гидротермальных и других источников металла, а также разрывных нарушений, наметить их связь между собой и, кроме того, возможную связь с ними марганцевых месторождений.

Если обилие материала не позволяет отразить на одной карте все особенности палеогеографии и распределение типов эффузивных и пирокластических пород, то следует составить две отдельные карты: палеогеографическую и палеовулканологическую с соответствующими фактическими данными. Проанализированный материал со всех карт выборочно наносят на результирующую карту прогноза, на которой намечают перспективные площади для проведения прогнозных и поисковых работ.

В качестве примера рассмотрим фрагмент карты одного из районов Джайльминской мульды (приложение 1), составленной Л. Н. Павленко под руководством А. А. Рожнова. На металлогеническую карту нанесены основные особенности геологии района. В северной части территории показаны тела гранодиоритов девон-

ского возраста и часть крупного массива нижнекаменноугольных гранитов. Интрузивные породы прорывают и метаморфизуют терригенные породы ордовикского возраста, широко распространенные в северной части района и относимые к кремнисто-терригенной флишовой формации. Южнее, отделяясь линией крупного разрывного нарушения, располагается область развития пород девона. Среди них выделяются эффузивные (внизу) и пирокластические (вверху) образования кайдаульской свиты, относимые к порфиритовой формации. Выше залегают пирокластические образования живетского-франского ярусов, не расчлененные более детально. Они являются членами вулканогенно-терригенной молассоидной формации. К югу от области распространения этих пород и стратиграфически выше них располагается толща красноцветных песчаников с конгломератами в основании, относимая к верхнефранскому подъярусу и к той же вулканогенно-терригенной молассоидной формации. Вверх они переходят в комплекс кремнисто-карбонатных пород фаменского яруса. В нижней части последних преобладают черные и серые специфические кремнистые породы, переслаивающиеся с карбонатными образованиями. С этой частью разреза связаны месторождения свинца и цинка. На них располагается выдержанная пачка розовых и красных волнистослоистых известняков, подробно описанная автором и выделенная им (Сапожников, 1963) в самостоятельную верхнекараджальскую свиту. С отложениями последней в Атасуйском районе связано подавляющее большинство месторождений и проявлений железных и марганцевых руд.

Все отложения фаменского яруса в свете представлений автора могут рассматриваться в качестве особой рудовмещающей подформации, которая выделена на карте помимо ее составителей. Фаменские отложения перспективны для поисков руд железа, марганца, свинца и цинка.

На красноцветных волнистослоистых известняках верхнекараджальской свиты располагается мощный комплекс разнообразных кремнисто-карбонатных, карбонатных и других пород турнейского яруса. Отложения фаменского и турнейского ярусов относятся А. А. Рожновым и другими геологами к единой вулканогенно-кремнисто-карбонатной формации, в составе которой автор выделяет уже упоминавшуюся рудовмещающую подформацию. Разрез палеозойских отложений венчается толщей песчаников и алевролитов виле, относимой составителями карты к терригенной формации. Все описанные породы располагаются в общем в виде полос, протягивающихся в направлении, близком к широтному, и постепенно сменяющихся с севера на юг все более и более молодыми образованиями.

На карте отражены основные элементы тектонической структуры района — складчатые и разрывные нарушения, рудные поля месторождений железа и марганца, отдельные проявления свинцового оруденения.

Палеогеографические карты района являются составной частью палеогеографических карт, составленных Т. Г. Каймирасовой (1972) для обширной территории Успенской тектонической зоны и здесь не приводятся.

На накладках к металлогенической карте отражены особенности распределения рудных элементов (приложение 2), а также результаты магниторазведочных и других работ, которые здесь не приводятся. Всесторонний анализ и совмещение основных данных, отраженных на вспомогательных картах, позволили геологам Джайремской ГРЭ составить результирующую карту прогнозов, фрагмент которой приводится в приложении 3. На ней выделены перспективные площади, намечаемые для постановки поисковых и разведочных работ, а также территории, не благоприятные для обнаружения рудных месторождений.

### МЕДИСТЫЕ ПЕСЧАНИКИ

Медные руды осадочного происхождения залегают среди пород молассовой формации и преимущественно красноцветной разновидности. Они связываются с орогенной стадией развития геосинклинальных областей и приурочиваются к срединным массивам или межгорным впадинам и наложенным мульдам. В пределах платформенных областей меденосные отложения располагаются в краевых прогибах и на прилегающих к ним частях плит. Рудная минерализация и оруденение обычно бывают приурочены к песчаникам. В некоторых случаях оруденению подвергаются и другие типы пород, такие, как сланцы, алевролиты, некоторые карбонатные образования и конгломераты.

Формирование медистых песчаников происходит в совершенно определенных климатических условиях. Они образуются при засушливом и преимущественно жарком климате. Н. М. Страхов (1962, 1963) уточняет, что одним из условий, необходимых для накопления меденосных отложений, является наличие климатической зональности, выражающейся в смене климата от аридного — в области осадконакопления, до гумидного — в области размыва.

Сводный ряд (рис. 25) включает различные генетические типы медных месторождений, образованных как на континентах, так и в морских водоемах. Наиболее значительные рудопроявления и промышленные месторождения медных руд приурочены к красноцветным образованиям молассовой формации и преимущественно к регрессивным сериям пород. Красноцветные отложения подобного типа широко развиты на территории СССР. Они известны в Приуралье, в Донбассе, в Центральном Казахстане, на Тянь-Шане и Мангышлаке, в Минусинском прогибе и в других местах. Широко развиты они на Сибирской платформе.

Периодичность накопления меди в осадочных породах в общей форме рассматривалась Л. В. Пустоваловым (1940), Н. М. Стреховым (1949) и некоторыми другими исследователями, Д. Г. Са-

пожников (1948) указывал, что на территории СССР формирование медистых песчаников связано с отложениями кембрия, девона, карбона, перми, триаса, мела и неогена. В настоящее время в пределах нашей страны наметился еще один — нижнепротерозойский комплекс пород, с которым связано Удоканское медное месторождение в Забайкалье. Другие уточнения стратиграфической приуроченности медных месторождений СССР сводятся к следующему: накопление медных руд в нижнем палеозое осуществлялось в ленский век среднего кембрия, а также в верхнем кембрии — нижнем ордовике во время отложения осадков верхоленской и устькутской свит. Из комплекса девонских отложений меденосными оказались породы преимущественно среднего и верхнего отделов этой системы, тогда как в каменноугольной оруденение связано в основном с нижним и средним отделами. Наконец, формирование медистых песчаников в мезозое, помимо триаса, имело место в нижнемеловую эпоху.

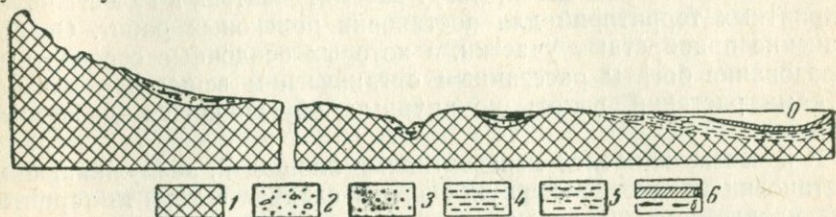


Рис. 25. Сводный ряд осадочных медных месторождений

1 — нерасчлененные коренные породы; 2 — пролювиальные отложения; 3 — речные и озерные отложения; 4 — дельтовые отложения; 5 — морские осадки; 6 — месторождения меди: а — в морских и дельтовых осадках; б — в континентальных отложениях; 0 — уровень океана

Вопрос об эпохах образования медных месторождений описываемого типа был рассмотрен В. И. Поповым (1957 а, б) на основе учета материала по осадочным месторождениям мира. Он установил четыре эпохи меденакопления: докембрийскую, верхнепалеозойскую, мезозойскую и третичную. Они охватывают весьма значительные отрезки времени и в основном вмещают те возрастные интервалы, в которых известно медное оруденение в пределах СССР.

Области развития красноцветных образований, связанных с регрессивными сериями осадков, можно рассматривать в качестве перспективных для поисков осадочных месторождений медных руд, особенно если образование красноцветов по времени относится к одной из перечисленных эпох. Породы красноцветных формаций наиболее перспективны для поисков в районах, расположенных неподалеку от областей сноса. Они будут располагаться среди отложений второй и третьей зон на территориях, тяготеющих к областям сноса. Особенно большое значение имеют красноцветные образования, находящиеся по соседству с массивами материнских пород, обогащенных медью.

В разрезе медное оруденение обычно приурочено к средним горизонтам пород красноцветной формации. Это особенно хорошо видно на примере Наукатского месторождения, располагающегося в средней части разреза неогеновых отложений Ферганы. Известны и другие случаи, когда горизонты медистых песчаников локализируются в нижних частях красноцветной формации. Так, в Джекказганском рудном районе выдержанный пласт медистых песчаников связан с нижним членом джекказганской свиты, с так называемым горизонтом «песчаников с каламитами» (Сапожников, 1948). Однако основные залежи медных руд располагаются стратиграфически выше.

Медное оруденение приурочивается исключительно к отложениям, обогащенным органическим веществом и окрашенным в серый и зеленовато-серый цвет. Области распространения сероцветных горизонтов в пределах красноцветной формации на площадях, близких к источникам сноса, могут рассматриваться в качестве благоприятных территорий для постановки поисковых работ. Особое значение приобретают участки, в которых осадочные сероцветные образования богаты рассеянным органическим веществом или остатками растений, вплоть до крупных обуглившихся древесных стволов.

В качестве наиболее перспективных площадей, заслуживающих постановки поисков, в первую очередь следует выделить территории, удовлетворяющие всем перечисленным требованиям и располагающиеся в пределах благоприятных тектонических структур или в непосредственном соседстве с ними. Складчатые и разрывные тектонические нарушения, благоприятствующие образованию катагенетических руд различных элементов, в том числе меди, описаны выше.

Само собой разумеется, что области развития пород, включающих известные рудопроявления или рудную минерализацию, должны быть отнесены к числу перспективных площадей, заслуживающих обследования в первую очередь. То же относится и к территориям, примыкающим к уже открытым медным месторождениям.

Формирование медистых песчаников происходит в пределах более или менее значительных депрессий, граничащих с активно размываемыми горными сооружениями. В связи с этим перспективны такие структурные элементы, как окраинные части платформ, примыкающие к горным сооружениям, возникшим на территории соседних складчатых областей. В пределах последних перспективны наложенные мульды и срединные массивы. В областях возрожденной складчатости медистые песчаники развиты в пределах молодых депрессий.

Важно подчеркнуть, что континентальные меденосные осадки озерно-аллювиального происхождения, накапливающиеся во второй зоне, сменяются в ряде случаев переходными к третьей зоне лагунными и дельтовыми также рудоносными отложениями. Последние в свою очередь переходят в осадки неглубокого моря третьей зоны седиментации и рудообразования, где осуществляется накопление

мелководных морских меденосных отложений типа медистых сланцев Мансфельда.

Имеется ряд дополнительных особенностей строения терригенных толщ, благоприятных для накопления металла при процессах диагенеза и катагенеза. К их числу относятся упоминавшиеся древние русла и другие каналы в осадочной толще, области контакта пород разного литологического состава, линзы относительно грубозернистых пород среди других образований (например, конгломератов среди песчаников, последних среди алевритов и т. п.); поверхности несогласия, по которым контактируют породы разного состава. Ко всем этим местам часто приурочено оруденение. Нередко оруденение связано с глинистыми включениями и карбонатными конкреционными образованиями в песчаниках, алевритах и других породах. Фациальная приуроченность и другие условия формирования осадочных медных руд подробно рассмотрены в работах В. И. Попова, И. П. Дружинина, Ю. В. Богданова, автора, Э. И. Кутырева. Данные этих и других исследователей необходимо учитывать при составлении различных прогнозных заключений.

При работах по прогнозу следует воспользоваться вспомогательной палеогеографической картой района. На ней обозначают области сноса, вероятное расположение в их пределах пород, обогащенных медью и могущих быть источником металла. Желательно наметить положение древних речных долин и ложбин стока, по которым могли поступать породы, обогащенные медью, и поверхностные воды, несущие растворенные соединения меди. На карте намечают границы областей седиментации и рудообразования и показывают площади распространения осадков различных фациальных типов, например, речные русловые и пойменные отложения, озерные отложения, прибрежные морские осадочные образования и т. п.

Существенным указанием на наличие оруденения являются древние выработки и их отвалы, по расположению которых, кроме того, можно сделать вывод о приуроченности залежей руд к элементам погребенного рельефа. Так, на рис. 26, предоставленном автору С. П. Бобровым, характер расположения старых заброшенных выработок позволил наметить русло древней реки, с которым связаны меденосные песчаники в Татарской АССР.

На палеогеографической основе выделяют благоприятные для рудообразования литологические особенности пород, наличие в них растительных остатков, содержания органического углерода и т. п. Вспомогательная металлогеническая карта должна включать в области сноса: расположение медных, урановых и свинцовых месторождений, данные по геохимии этих металлов в древних породах и особенно в породах, обогащенных этими металлами. В области распространения самой красноцветной рудовмещающей формации следует нанести данные по содержанию и геохимии меди, свинца, а возможно, урана и некоторых других элементов, связанных с медью в осадочном цикле. Должны быть отмечены все известные проявления и месторождения меди, связанные с породами

формации. Особое значение имеет карта геофизических аномалий, которые необходимо учитывать наравне с геологическими данными при выполнении прогнозных работ.

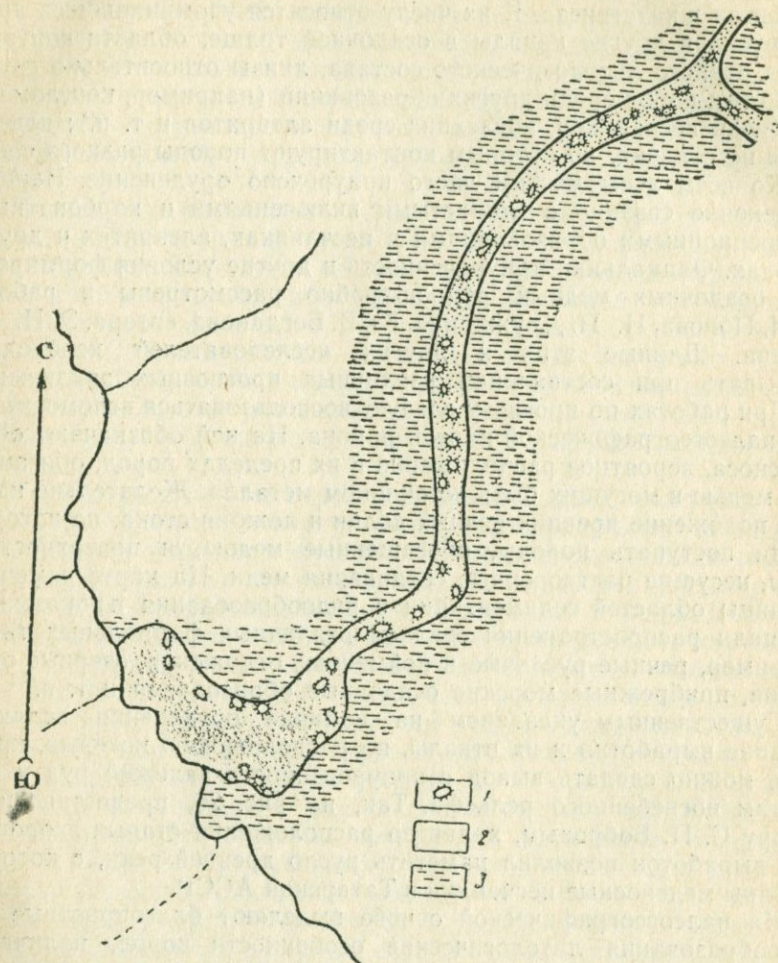


Рис. 26. Схема расположения отвалов старых горных выработок в районе д. Стар. Чабья на меденосных русловых песчаниках третьей пачки верхнеказанского подъяруса ( $P_2K_3$ )

1 — отвалы старых горных выработок; 2 — песчаники, алевролиты; 3 — глины, алевролиты (По С. П. Воброву)

На результирующей прогнозной карте сводят все наиболее существенные для прогноза данные, перенесенные с вспомогательных карт; выделяют площади для постановки поисков и участки для проведения разведочных работ.

## ПРОГНОЗ РУД НА ДНЕ СОВРЕМЕННЫХ МОРСКИХ ВОДОЕМОВ

В последние годы все большее внимание исследователей привлекает широкий круг полезных ископаемых, развитых в современных морских и океанических бассейнах. Они встречаются на самых разных глубинах начиная от пляжа и мелководья вплоть до глубоководных частей океанического ложа, отстоящих от берегов на тысячи километров. Распространение полезных ископаемых на дне морей описано в работах Мери Д. (1969), Дагенса и Росса (Degens, Ross, 1969), Мак-Кельви и Ванда (McKelvey, Wand, 1969), П. Л. Безрукова (1971) и других авторов.

В приложении 4 показано распространение различных месторождений, исключая нефть и природный газ, известных в пределах акваторий морей и океанов. Обращает на себя внимание огромное количество накоплений железо-марганцевых конкреций, которые особенно широко развиты на дне океанов и встречаются, но в значительно меньшем количестве также в некоторых морских водоемах (Белое, Средиземное и Охотское моря). Широко распространены фосфориты, тяготеющие к прибрежным частям океанических бассейнов. Весьма распространены россыпи различных металлов, часть из которых представляет собой месторождения, эксплуатирующиеся в течение длительного времени. Они также располагаются в прибрежной зоне.

Океанографические исследования последних лет позволили впервые обнаружить подводные рудные накопления, предположительно связанные с гидротермальной деятельностью и известные пока всего в нескольких точках. Сюда прежде всего относятся уже упоминавшиеся накопления рудных минералов в центральном грабене Красного моря. Две другие точки находятся в Тихом океане: одна — к югу от Филиппин, вторая — к западу от побережья Южной Америки в области Восточно-Тихоокеанского поднятия.

Проявления баритовых конкреций установлены: 1) к югу от полуострова Индостан примерно на широте южной части о. Цейлон; 2) к югу от западной оконечности о. Новая Гвинея; 3) близ Калифорнийского побережья Северной Америки. Железорудный ил известен в кальдере вулкана Санторан на дне Эгейского моря.

*Морские россыпи.* Наиболее полны сведения о локализации и условиях образования морских россыпных месторождений. Этому вопросу посвящены многочисленные работы различных авторов. Россыпи дают огромное количество рудных минералов. Так, прибрежные россыпи Австралии обеспечивают 95% добычи рутила, 77% циркона и 25% монацита капиталистических стран.

Необходимыми условиями для формирования морских россыпей является наличие рудного минерала в породах, слагающих побережье, или в выносах рек, впадающих в море. Если рудный минерал первично включен в плотных материнских породах, развитых на берегу, то особое значение приобретает выветривание этих

пород, способствующее их дезинтеграции и обособлению рудного минерала. Следует также подчеркнуть, что формирование морских россыпных месторождений возможно только при оптимальных условиях гидродинамического режима в прибрежной части водоема.

Россыпи современных морей подразделяются на ряд типов, среди которых наиболее перспективны россыпи пляжа, бенча и подводного берегового склона. Россыпи пляжа обязаны своим происхождением дифференциации вещества, главным образом наносов донных отложений, движущихся под воздействием плоского потока воды в зоне прибоя. Он возникает за счет деформации и разрушения волны в зоне берега, причем вода вначале накатывается и как бы взбегает вверх по пляжу. Затем формируется обратный ток воды, скатывающейся вниз к урезу. В ходе этого процесса идет естественное шлихование отложений, развитых на пляже. Пляжевые россыпи обычно тесно связаны с источником рудных минералов и не удаляются от них на значительное расстояние.

В пределах бенча и особенно подводного берегового склона, протягивающегося полосой вдоль берега, наряду с дифференциацией влекомых наносов (донных отложений) осуществляется подобный же процесс разделения вещества и в потоке взвешенных наносов. В последнем случае для образования россыпей, по мнению Сакса и Смолдырева, необходимо: 1) существование мощного потока наносов, обеспечивающего вынос большей части тяжелой фракции из зоны поступления терригенного материала, содержащего полезные минералы; 2) наличие гидрологических и геоморфологических условий, обеспечивающих длительное слабое уменьшение мощности потока на перспективном участке; 3) существование производительных по времени и устойчивых по параметрам экстремальных режимов моря в зоне питания.

Россыпи в прибрежной зоне современных морских водоемов обычно имеют форму узких полос, протягивающихся на значительное расстояние вдоль побережья (А. А. Аксенов и др.). Ширина их, как правило, не превышает первых десятков метров, а длина доходит до нескольких километров. Большую известность имеют россыпи у побережья Индии, которые включают слои, содержащие до 70% ильменита при мощности до 1 м. Россыпи протягиваются на 4 км вдоль берега и имеют ширину продуктивной зоны 100—200 м. Интересно, что на выработанных участках после сезона штормов россыпи восстанавливаются (А. А. Тарасов).

Выделение участков морского дна, перспективных для поисков россыпей, должно проводиться с учетом основных геолого-геоморфологических особенностей побережий, подводного рельефа морского дна и гидродинамики в прибрежной зоне. Необходимы реконструкция палеогеографии и составление палеогеографической карты, которая должна позволить наметить положение древней береговой линии, древних ложбин стока, островов и т. п. Следует особо осветить неотектонику района, чтобы иметь представление о движениях земной коры, приведших к затоплению или осушению

участков побережий. Эти и другие данные следует отразить на палеогеографической карте, которая должна включать все элементы палеогеографии и неотектоники, чтобы в дальнейшем перенести их на карту прогноза. На последнюю необходимо также нанести материнские породы, содержащие полезный компонент и континентальные россыпные месторождения. Это могут быть древние или современные россыпи, располагающиеся на берегу и уходящие частью под уровень воды. В этом наиболее благоприятном случае прогноз морских россыпей не представляет существенных затруднений, так как они являются продолжением россыпей, развитых на суше.

Материнскими породами, несущими полезный компонент, могут быть древние россыпи на берегу, подвергающиеся размыву, коренные породы, например граниты, как свежие, так и затронутые выветриванием, аллювиальные, ледниковые и прочие рыхлые отложения, содержащие рудные минералы. Все благоприятные типы исходных пород должны быть выделены на карте прогноза в ее береговой части. Здесь же следует показать особым знаком водные артерии (и ледники), которые могли вносить ранее или вносят в настоящее время рудный компонент непосредственно в бассейн.

На той части карты прогноза, которая охватывает прибрежную область морского водоема, следует отразить основные морфологические особенности дна, например сохранившиеся под водой валы конечных морен, другие элементы ледникового комплекса, затопленные приустьевые части речных долин и т. п. Особенно важно детально охарактеризовать глубины бассейна, показать местоположение подводных абразионных и аккумулятивных террас, кос, береговых валов и т. п.

Большое место должны занять данные, характеризующие пространство современных динамических процессов, приводящих к разрушению берега, с одной стороны, или намыванию и отложению наносов, сопровождающемуся разрастанием берега в сторону водоема, — с другой. На песчаных плоских берегах следует фиксировать процессы развевания песков и ветровой аккумуляции в связи с возможностью образования золотых россыпей.

На карте прогнозов, в ее морской части, необходимо отразить основные элементы гидродинамики, в частности, морские течения, их направление, скорость и, что особенно важно, выделить места, где происходит изменение и особенно уменьшение скоростей течений, направленных вдоль берега. Все данные, нанесенные на карту прогноза, необходимо проанализировать исходя из современных представлений о динамике берегов, формировании типов морских прибрежных отложений и об образовании россыпей (А. А. Аксенов; В. П. Зенкович).

В работе В. Г. Беспалого и др. (1970) приводится схематическая карта путей и способов переноса некоторых полезных ископаемых в береговую зону северо-восточных морей, распространения морских террас и типов берегов. На карте отражен ряд элемен-

тов, учет которых необходим при прогнозе россыпей в современных водоемах.

*Желваковые фосфориты.* Они относительно широко распространены в прибрежной части океанических водоемов в местах, где к ним близко подходят участки глубокого моря. Характерно, что фосфориты как бы избегают внутриконтинентальных морей, в пределах которых эти образования пока нигде не встречены. Желваковые фосфориты встречаются в океанах в основном в интервале глубин от 30 до 1000 м. Содержание  $P_2O_5$  в них достигает 29%.

Современные фосфориты формируются лишь в одном пункте — у юго-западного побережья Африки в районе залива Уолфиш. Они образуются биогенным путем за счет массового развития жизни в зоне восходящего течения, поднимающего с больших глубин воды, богатые фосфором и другими элементами, необходимыми для существования различных организмов. Интенсивное развитие жизни сопровождается массовым отмиранием организмов, которые опускаются на дно и обогащают осадки прибрежной зоны органическим веществом и фосфором. В ходе процессов диагенеза осуществляется перераспределение соединений фосфора, стягивание их к определенным центрам и образование в осадках фосфоритовых желваков.

Другие накопления желваковых фосфоритов, развитые у берегов Калифорнии, Флориды, в Аденском заливе у западного побережья Южной Америки и в некоторых других местах, имеют более древний возраст. Они образовались частью в миоцене, частью в плиоцене и в плейстоцене. Локализуются они так же, как и современные фосфориты района залива Уолфиш. Вероятно, повсюду в перечисленных местах ранее существовали восходящие течения, выносившие массу питательных веществ и обусловившие возможность формирования биогенных фосфоритов.

Прогнозировать месторождения современных желваковых фосфоритов можно основываясь на гидрологических и батиметрических данных. Благоприятными условиями для этого будут: 1) значительные глубины океана в непосредственной близости от берега; 2) наличие течений, восходящих к поверхности с глубины; 3) отсутствие сгонных течений, которые могут сносить в открытый океан глубинные воды, выведенные в прибрежную часть восходящими течениями, а также уносить остатки организмов, не допуская захоронения их в донных отложениях.

Фосфориты и фосфатосодержащие породы, открытые в самое последнее время на дне глубоководной части океанов, по мнению П. Л. Безрукова (1971), еще долгие годы не будут иметь практического значения.

*Железо-марганцевые конкреции.* Развиты главным образом в Тихом, Индийском и в меньшей степени в Атлантическом океанах и встречены примерно на 30 000 станций, с которых в разные годы различными экспедициями были взяты образцы донных отложений. Наиболее богат конкрециями Тихий океан, причем они

отличаются здесь наиболее высоким содержанием металла. Общее количество марганцевых конкреций в Тихом океане составляет 1500 млрд. Ежегодный прирост минеральных веществ, входящих в состав конкреций, достигает 10 млн. т. (Bouysson, 1970). Запасы составляют: никеля  $2,3 \cdot 10^9$ , кобальта —  $1,1 \cdot 10^9$  т меди —  $1,5 \cdot 10^9$  т (П. Л. Безруков и др.). Конкреции располагаются преимущественно на глубинах более 1500 м. Однако на подводном плато Блейк они залегают в интервале от 600 до 900 м.

Железо-марганцевые конкреции связаны в основном с областью распространения красной глубоководной глины, но встречаются и в пределах участков морского дна, сложенных илами, прежде всего радиоляриевым и в меньшей степени глобигериновым и диатомовым. Конкреции преимущественно развиты в местах, где океаническое дно имеет расчлененный рельеф и процесс осадконакопления замедлен (Скорнякова и др., 1962). Особенности связи конкреций с элементами рельефа океанического дна еще не установлены. Конкреции известны как на вершинах подводных возвышенностей, так и на их склонах у понижений. Наибольшего внимания заслуживают минеральные образования, располагающиеся на вершинах подводных возвышенностей, так как они находятся на более доступной глубине. Вопрос о прогнозе мощностей слоя конкреций на дне океана остается открытым.

В США и в других зарубежных странах, металлургическая промышленность которых не обеспечивается собственными запасами марганцевых руд, возник вопрос об использовании железо-марганцевых конкреций. Имеются сведения о том, что промышленные компании США и Японии разработали методы добычи конкреций со дна. В печати появилось сообщение, что в 1971 г. должна была начаться пробная добыча железо-марганцевых конкреций с вершины одной из подводных возвышенностей в районе Гавайских островов в Тихом океане. В 1974 г. США предполагают добыть 1 000 000 т конкреций.

Для нашей страны, обладающей многочисленными месторождениями марганца с первоклассными рудами, нет особой экономической необходимости использовать железо-марганцевые конкреции в промышленных целях. Однако для развития металлургических предприятий Дальнего Востока в будущем может оказаться выгодным использовать в качестве марганцевой руды конкреции со дна океана. Конечно, при этом необходимо учитывать, что попутно будут извлекаться все ценные компоненты, содержащиеся в марганцевых конкрециях.

Месторождения, образованные в результате гидротермальной деятельности на дне морских и океанических бассейнов, связаны в основном с рифтовыми зонами и в меньшей степени с отдельными подводными вулканическими аппаратами. Наиболее изученным примером их, помимо проявлений в кальдере вулкана Санторин, являются подводные предположительно гидротермально-осадочные образования в трех впадинах на дне внутреннего грабена

Красного моря (Degens, Ross, 1969). В настоящее время неизвестны какие-либо закономерности, дающие возможность предсказать обнаружение подводных гидротермально-осадочных руд в многочисленных рифтовых зонах на дне океанов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Металлогеническая карта прогноза, составленная с учетом палеогеографических и других данных, представляет собой наиболее обоснованное заключение о перспективности региона или его частей для поисков тех или иных полезных ископаемых. Она содержит в обобщенном виде весь материал по геологии и металлогении района и наглядно показывает, какие факты положены геологом в основу практических рекомендаций. Наряду с этим на карте выделяются конкретные площади для проведения поисковых работ и разведки.

Одним из прототипов карты прогноза явилась Карта цементного сырья Центральных районов европейской части СССР, составленная в Московском геологическом управлении в конце тридцатых годов геологом Н. В. Кулясовой под руководством С. А. Хакмана. На ней помимо известных месторождений были нанесены необходимые данные для прогноза и выделены перспективные области для поисков новых месторождений цементного сырья.

В 1938 г. академик А. Д. Архангельский начал работы по составлению карт прогноза. В настоящее время они пользуются все большим признанием.

Материалы по прогнозу месторождений различных полезных ископаемых показывают, что ряд особенностей локализации свойствен одновременно различным элементам. Это обстоятельство позволяет объединить на одной карте материал, необходимый для прогноза месторождений двух или нескольких полезных ископаемых, например руд меди и свинца.

При составлении карт прогноза обычно используются имеющиеся геологические материалы, обобщение которых всегда может позволить сделать те или иные выводы по металлогении района и высказать заключение о прогнозе. Однако в ряде случаев для правильного понимания металлогении района и обоснованного выделения площадей для поисковых и разведочных работ необходимо провести специализированные полевые исследования.

Наряду с картами прогноза, составленными на палеогеографической основе, в последнее время появились другие карты, на которых суммированы благоприятные поисковые критерии и выделены перспективные площади. Эти карты, которые можно назвать картами учета благоприятных металлогенических факторов, также должны найти широкое применение. Предложен формационный метод прогноза и поисков месторождений, связанных с какой-либо одной определенной формацией.

Существуют и другие методы и приемы прогноза, когда геолог, основываясь на материалах по геологии района, изучении рудных месторождений и металлогении, а также на своем опыте, намечает перспективные площади для поисков и разведок. Такие заключения широко известны; они постоянно даются главным образом специалистами, занятыми производственной деятельностью в геологических управлениях, экспедициях и на промышленных предприятиях. Прогнозы этого рода играют важнейшую роль для увеличения материалов запасов минерального сырья. Правда, при прогнозировании иногда за неимением исчерпывающих материалов привлекается ограниченный круг исходных данных, вследствие чего предположения приобретают односторонний характер.

В последние годы все отчетливее ощущается необходимость проведения широких прогнозных работ на глубокой теоретической основе. Следовательно, надо учитывать возможно более широкий круг теоретических положений и факторов, касающихся геологии района, металлогении и условий образования осадочных полезных ископаемых. Только при этом условии прогнозные заключения будут подтверждаться поисковыми и разведочными работами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтгаузен М. Н. Причины возникновения эпохи накопления редких металлов и фосфора в морских осадках нижнего палеозоя. М., Госгеолтехиздат, 1956, с. 11.
- Архангельский А. Д. О происхождении бокситов и поисках новых их месторождений. Труды ВИМС, вып. 10. «Бокситы», т. 1, ч. 1. М.—Л., ОНТИ, 1937, с. 7—10.
- Безруков П. Л. О связи полезных ископаемых дна океанов с тектоническими структурами. В кн.: «Проблемы теоретической и региональной тектоники», М., «Наука», 1971, с. 281—290.
- Беспалый В. Г., Павлов Г. Ф., Сухорослов В. Л. Прибрежные россыпи Северо-Востока СССР. В кн.: «Проблема геологии россыпей». Магадан, 1970, с. 336—344.
- Бетехтин А. Г. Промышленные марганцевые руды СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946, с. 315.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. Изд. 2. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 172.
- Геология и металлогения Успенской тектонической зоны. В 6 томах. Главный редактор Г. Н. Щерба. «Наука», 1966—1968.
- Германов А. И. Основные черты гидрохимических условий формирования некоторых инфильтрационных месторождений урана.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 8, с. 75—89.
- Германов А. И., Пантелеев В. М. Поведение органического вещества подземных вод в инфильтрационном эпигенезе.— Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 12, с. 113—120.
- Головин Е. А. О двух группах экзогенных процессов и урановых месторождений.— «Литология и полезные ископаемые», 1965, № 2, с. 95—103.
- Горецкий Ю. К. Закономерности образования бокситовых месторождений. В кн.: «Бокситы, их минералогия и генезис». М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 93—119.
- Горецкий Ю. К. Закономерности размещения и условия образования основных типов бокситовых месторождений.— Тр. ВИМС, вып. 5, новая серия. М., 1960, с. 257.
- Грязнов В. И. О признаках сублиторальной обстановки при образовании рудных фаций Никопольского марганцевого месторождения.— Докл. АН СССР, 1954, т. 96, № 1, с. 151—155.
- Дзоценидзе Г. С. Роль вулканизма при образовании осадочных пород и руд. М., «Недра», 1969.
- Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 710.
- Илларионов И. К. Роль подземных вод в образовании гипергенного сидерита месторождений фосфоритов и горючих сланцев Среднего Поволжья.— Труды Воронеж. гос. ун-та, 1957, т. 58, с. 35—48.
- Казаков А. В. Фосфоритные фации.— Тр. НИУ, вып. 145, Л.—М., 1939, с. 106.
- Казаринов В. П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М., Гостоптехиздат, 1958, с. 324.

**Каймирасова Т. Г.** Фашии и палеогеография верхнего девона Успенской тектонической зоны и сопредельных районов (Центральный Казахстан). Автореф. канд. дисс. Алма-Ата, 1972.

**Калинин В. В.** Некоторые особенности строения и состава железных и марганцевых руд месторождения Караджал. В кн.: «Марганцевые месторождения СССР». М., «Наука», 1967, с. 305—310.

**Каширцева М. Ф.** Экспериментальные данные по сорбции меди различными минеральными и органическими сорбентами.— «Советская геология», 1959, № 5, с. 130—141.

**Коновалов Г. С.** Вынос микроэлементов главнейшими реками СССР.— Докл. АН СССР, 1959, т. 129, № 4, с. 912—915.

**Кротов Б. П. и Столярова Т. И.** Соколовское месторождение бобовых железистых бокситов в Каменском районе Челябинской области и их генезис.— Изв. АН СССР, серия геол., 1942, № 4, с. 47—70.

**Кротов Б. П.** Условия залегания гипергенных месторождений на разных этапах одного периода эпейрогенических колебаний.— Докл. АН СССР, 1949, т. 67, № 6, с. 1077—1080.

**Кротов Б. П.** К вопросу о закономерностях размещения морских и озерных месторождений железных руд и бокситов по основным структурным единицам земной коры.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 4, с. 11—19.

**Кротов Б. П.** Дифференциация элементов при выветривании, латеритная кора выветривания и закономерности распределения рудных месторождений.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 35, М., 1959, с. 107.

**Ли П. Ф., Певзнер В. С.** Геология и металлогения кор выветривания Зауралья. Л., «Недра», 1968, с. 122.

**Манская С. М., Дроздова Т. В., Емельянова М. Г.** Связывание урана гуминовыми кислотами и меланоидинами.— «Геохимия», 1956, № 4, с. 10—23.

**Меро, Джон Л.** Минеральные богатства океанов. Под ред. К. К. Зеленова. М., «Прогресс», 1969, с. 440.

**Никеленосные коры выветривания Урала.** Под ред. Н. В. Павлова. М., «Наука», 1970.

**Никитин К. К., Глазковский А. А.** Никеленосные коры выветривания ультрабазитов и методы их изучения. М., «Недра», 1970, с. 214, библ. 208—212.

**Никитина А. П., Витовская И. В., Никитин К. К.** Минералого-геохимические закономерности формирования профилей и полезных ископаемых коры выветривания и некоторые вопросы методики их изучения. М., «Наука», 1917, с. 88.

**Новохатский И. П.** О металлогении железа и марганца и методике составления металлогенических и прогнозных карт на железные и марганцевые руды в Центральном Казахстане. В кн.: «Материалы научной сессии по металлогеническим и прогнозным картам». Алма-Ата, 1958, с. 224—241.

**Об урановом оруденении в карбонатных осадочных породах.**— «Геология рудных месторождений», 1959, № 6, с. 27—38. Авт.: В. И. Данчев, А. М. Корнилов, М. В. Неймышев, В. В. Оляха, Б. К. Прошляков, Н. П. Стрелянов, М. П. Сытников.

**Об эпигенетической зональности урановых месторождений в карбонатных породах.**— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 11, с. 50—63. Авт.: В. Н. Холодов, А. К. Лисицын, Г. В. Комарова, И. А. Кондратьева.

**Орлова А. В., Шаталов Е. Т.** Металлогенические и прогнозные карты рудных районов. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 50.

**Основные принципы составления, содержания и условные обозначения металлогенических и прогнозных карт рудных районов.** «Недра», 1964, с. 194. Авт.: Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, В. С. Яблоков, И. Н. Томсон.

**Перельман А. И.** Геохимия эпигенетических процессов. М., «Недра», 1968, с. 331.

**Полынов Б. Б.** Кора выветривания. Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 242.

**Полынов Б. Б.** Красноземная кора выветривания и ее почвы.— «Почвоведение», 1944, № 1, с. 14.

**Попов В. И.** Об эволюционной и контрастной дифференциации осадочных горных пород.— Докл. АН УзССР, 1950, № 5, с. 7—10.

**Попов В. И.** О разграничении сингенеза, эпигенеза и метаморфизма.— Изв. АН УзССР, серия геол., 1957а, № 1, с. 37—41.

- Попов В. М.** О периодичности меденаконпления в геологической истории земли.— Тр. Фрунз. политехнич. ин-та, вып. 1, 19576, с. 5—10.
- Пустовалов Л. В.** Петрография осадочных пород. Ч. I и II. М.—Л., Госгеотехиздат, 1940, с. 420.
- Пятнов В. И.** Условия образования прибрежных морских россыпей.— «Разведка и охрана недр», 1956, № 5, с. 6—16.
- Рожкова Е. В. и Щербак О. В.** Сорбция свинца на различных горных породах и возможная ее роль в образовании месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 2, с. 13—24.
- Роль сорбции в концентрации урана.**— Тр. II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, М., 1959, т. 3, с. 13—52. Авт.: Е. В. Рожкова, Е. Г. Разумная, М. В. Серебрякова, О. В. Щербак.
- Сапожников Д. Г.** Медистые песчаники западной части Центрального Казахстана.— Труды ИГН АН СССР, 1948, вып. 93, с. 124.
- Сапожников Д. Г. и Златогурская И. П.** Медистые песчаники бассейна р. Ишим в Казахстане.— Бюлл. МОИП, новая серия, 1953, т. 58, вып. 6, с. 15—26.
- Сапожников Д. Г.** О стадиях осадочного рудообразования.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 2, с. 44—57.
- Сапожников Д. Г.** К теории прогноза осадочных рудных месторождений (применительно к условиям платформенных областей). М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 143.
- Сапожников Д. Г. и Виселкина М. А.** Экзогенное урановое месторождение, связанное с пестроцветной континентальной толщей.— «Геология рудных месторождений», 1962, № 3, с. 22—42.
- Сапожников Д. Г.** Караджальское железо-марганцевое месторождение (в Центральном Казахстане).— Изв. АН СССР, 1963, с. 196.
- Семенович Н. И.** Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах.— Труды Лабор. озеровед. АН СССР, М.—Л., 1958, вып. 8, с. 188.
- Сигов А. П.** Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М., «Недра», 1969, с. 196.
- Скорнякова Н. С., Андрущенко П. Ф., Фомина Л. С.** Химический состав железо-марганцевых конкреций Тихого океана.— «Океанология», 1962, вып. 2, с. 264—277.
- Смирнов А. И., Иваницкая Р. Б., Залавина Т. П.** Экспериментальные данные о возможности химического отложения фосфатов из морской воды.— В кн.: «Геология месторождений фосфоритов». М., Госгортехиздат, 1962, вып. 7, с. 289—302.
- Смирнов В. И.** Геология полезных ископаемых. М., «Недра», 1969, с. 687.
- Страхов Н. М.** Железорудные фации и их аналоги в истории Земли.— Труды ИГН АН СССР, 1947, вып. 73, № 22, с. 268.
- Страхов Н. М.** О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 6, с. 70—111.
- Страхов Н. М.** Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5, с. 12—49.
- Страхов Н. М.** Основы теории литогенеза. Т. I—III. М., Изд-во АН СССР, 1960—1962, с. 212.
- Страхов Н. М.** Типы литогенеза и их эволюция в истории земли. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 535.
- Страхов Н. М., Штеренберг Л. Е., Калинин В. В., Тихомирова Е. С.** Геохимия осадочного марганцеворудного процесса. М., «Наука», 1968, с. 492.
- Фань Де-лянь.** Железо-марганцевое месторождение Вафанзы (КНР).— «Геология рудных месторождений», 1959, № 1, с. 78—89.
- Формозова Л. Н.** Железные руды Северного Приаралья.— Труды ГИН АН СССР, 1959, вып. 20, с. 447.
- Чухров Ф. В.** Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 672.
- Шатский Н. С.** О марганцевоносных формациях в металлогении марганца.— Изв. АН СССР, серия геол., 1954, № 4, с. 3—37.
- Шило Н. А.** Особенности образования россыпей в зоне развития вечной мерзлоты.— «Советская геология», 1956, № 53, с. 102—117.

**Abbott A. T.** Occurrence of Gibbsite on the Island Kauai, Hawaiian Islands. *Ecknom. Geol.*, 1958, vol. 53, N 7.

**Bouysse P.** La recherche miniere sous-marine *Annales des mines.* 1970, N 4.

**Cayeux L.** Contribution a l'etude mineragraphique des terrains sedimentaires. I Craie du bassin de Paris. — *Ann. Soc. geol. du Nord*, 4 livr., 2, 1897.

**Cayeux L.** Genese des gisements de phosphates de chaux sedimentaires — *Bull. Soc. geol. France*, 1905, vol. 4, N 6.

**Degens E. T., Ross D. A.** Hot brines and recent heavy metal deposits in the Zed Sea. N. Y. 1969.

**Garrels R. M. — Christ Ch. L.** Solutions, minerals and equilibria. New York, Harper Row, 1965.

**McKelvey, Wand F. F. H.** World subsea mineral resources. Department of the interior U. S. Geological Survey Washington, D. C., 1969.

**Salai C.** The enrichment of uranium in some brown coals in Hungary. — *Acta geol. Acad. Sci. Hungarica*, 1954, 11, f. 3—4.

**Strom K. M.** A concentration of uranium in black muds, *Nature*, 1948, vol. 162.

**Suda K., Matsuzawa I., Jida C. and Jamasaki K.** Mineralogical and geochemical studies on the weathering of a quartz porphyry. *J. Earth. Sci., Nagoya univer*, 1958, vol. 6, N 2.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	6
<b>Глава I. Кора выветривания и связанные с ней рудные месторождения</b> . . . . .	<b>9</b>
Значение климата при выветривании и образовании остаточных месторождений . . . . .	9
Состав материнских пород . . . . .	16
Значение рельефа местности . . . . .	19
Формация коры выветривания и элювиально-осадочный комплекс . . . . .	23
Полезные ископаемые, связанные с корой выветривания . . . . .	26
<b>Глава II. Осадочные рудные месторождения</b> . . . . .	<b>28</b>
Источник металла . . . . .	29
Роль рельефа и особенностей тектонической структуры . . . . .	42
Роль климата при образовании морских осадочных месторождений . . . . .	44
<b>Глава III. Некоторые особенности осадочного рудного процесса</b> . . . . .	<b>45</b>
Первично-осадочное (седиментационное) рудообразование . . . . .	46
Рудообразование в стадию диагенеза . . . . .	65
Рудообразование в катагенетическую стадию . . . . .	75
Вулканогенно-осадочное рудообразование . . . . .	86
<b>Глава IV. Некоторые общие закономерности распределения осадочных месторождений</b> . . . . .	<b>91</b>
Зональность в распределении осадочных образований на платформах . . . . .	92
Ряды осадочных рудных месторождений . . . . .	105
Структурно-тектоническая приуроченность осадочного рудообразования . . . . .	113
Специфические особенности рудогенеза в складчатых областях . . . . .	120
Приуроченность рудных месторождений к основным элементам стратиграфического разреза . . . . .	129
<b>Глава V. Общие принципы прогноза осадочных месторождений</b> . . . . .	<b>138</b>
Выделение комплексов пород и формаций . . . . .	141
Составление карт прогноза применительно к условиям платформенных областей . . . . .	145
Методы прогноза рудных месторождений в складчатых областях . . . . .	154
Формационный метод прогноза (применительно к геосинклинальным бокситам) . . . . .	164

Глава VI. Методика выделения площадей, перспективных для поисков кор выветривания и месторождений некоторых типов . . . . .	170
Россыпные месторождения . . . . .	176
Марганцевые руды . . . . .	183
Медистые песчаники . . . . .	190
Прогноз руд на дне современных морских водоемов . . . . .	195
Заключение . . . . .	200
Список литературы . . . . .	202
Приложения 1—4	

ДМИТРИЙ ГАВРИЛОВИЧ  
САПОЖНИКОВ

Основы прогноза осадочных рудных  
месторождений

Редактор издательства В. А. Крыжановский  
Техн. редактор Л. В. Дунаева  
Корректор Г. А. Меркулова

---

Сдано в набор 9/VI 1972 г. Подписано в печать  
10/XI 1972 г. Т — 19111. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л.  
14,5 с вкладками. Уч.-изд. л. 15,4. Бумага № 2+офс.  
Индекс 1-4-1. Зак. 2-1206/2663-4. Тираж 2000 экз.  
Цена 1 р. 67 к.

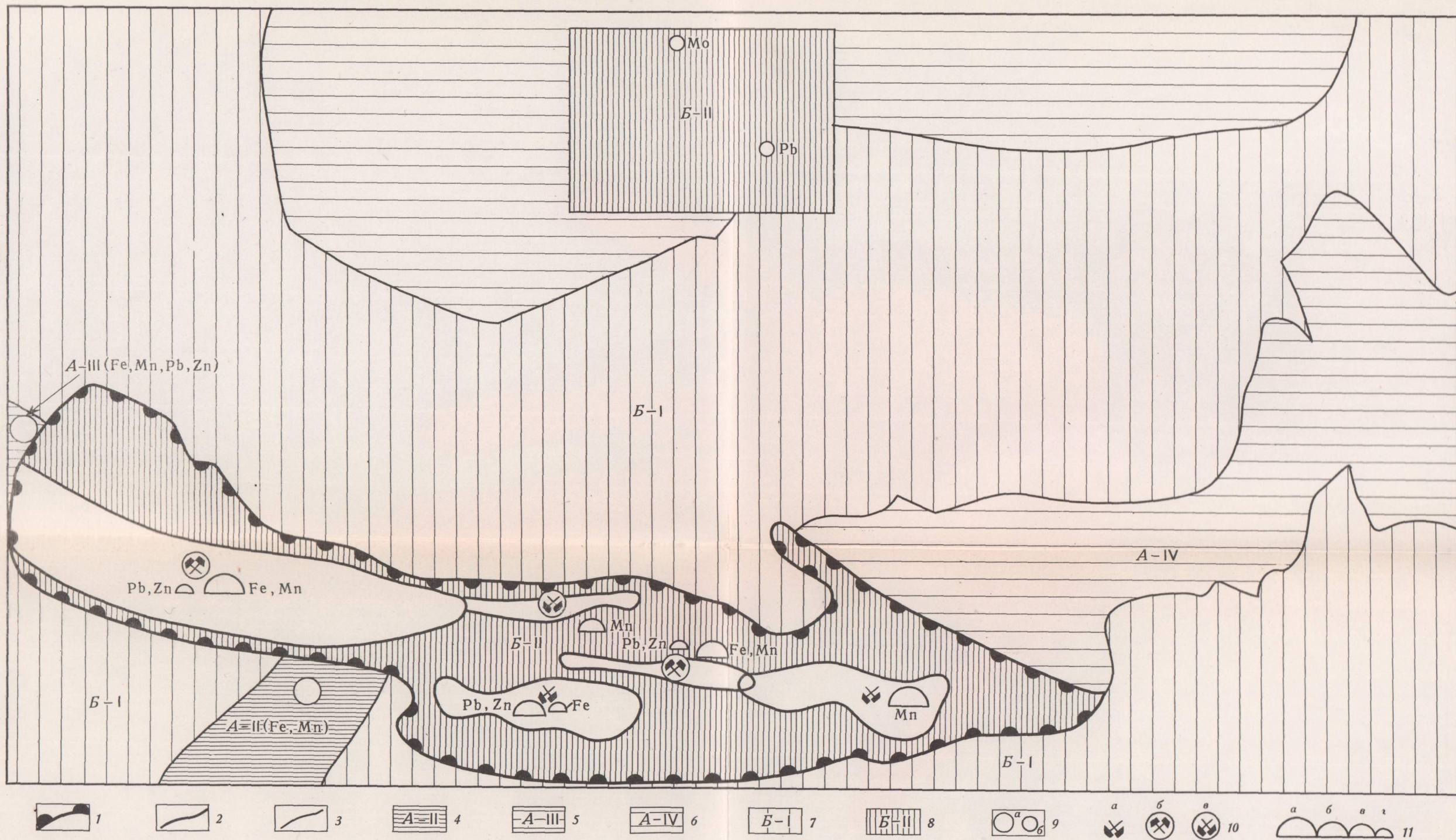
---

Издательство «Недра». Москва, К — 12, Третьяков-  
ский проезд, д. 1/19.  
Типоофсетная фабрика «Коммунист» Государст-  
венного комитета Совета Министров Украинской  
ССР по делам издательства, полиграфии и книж-  
ной торговли. Харьков, ул. Энгельса, 11,

1 руб. 67 коп.

584

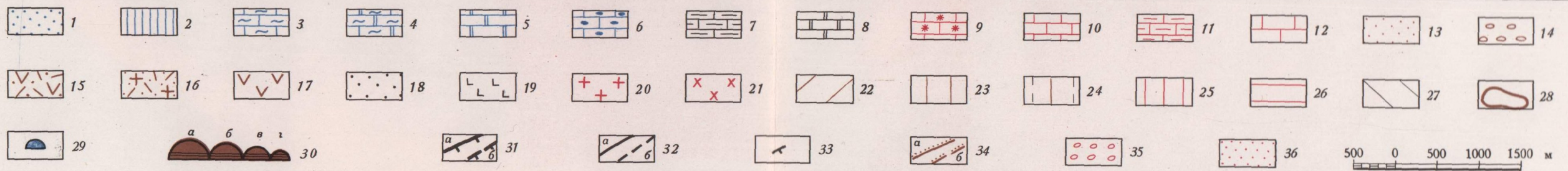
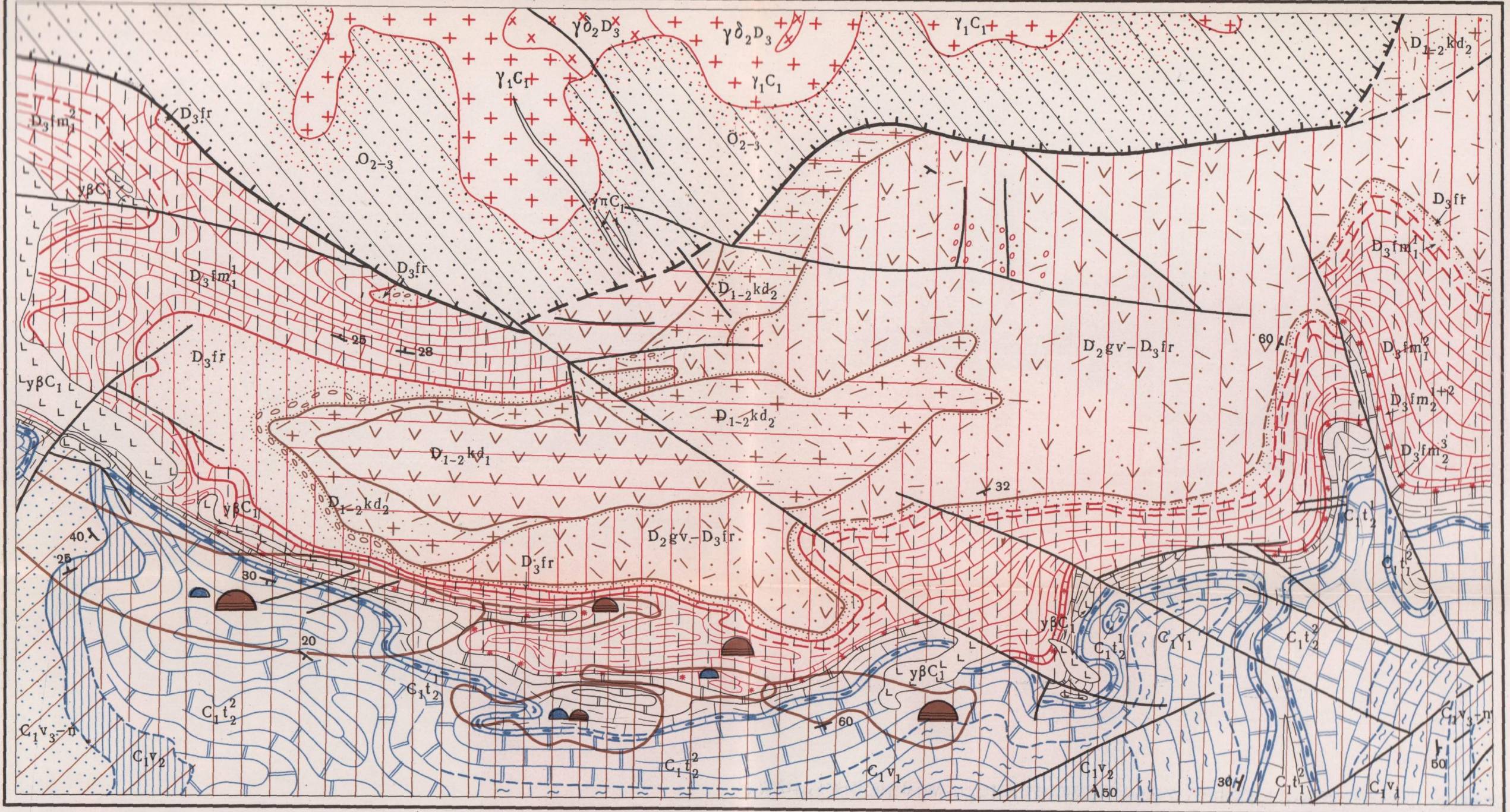
НЕДРА • 1972



Приложение 3. Металлогеническая карта прогноза (фрагмент). Составила Л. Н. Павленко под руководством А. А. Рожнова

Металлогеническое районирование: 1 — граница рудного узла; 2 — граница рудного поля; 3 — граница участков с различной перспективностью в пределах одного рудного узла или зоны. Площади, выделяемые в пределах рудных и потенциально рудных зон и узлов: А — площади, требующие постановки определенного вида работ; 4 — площади распространения прямых рудоуправляющих признаков с выявленными рудоуправлениями (требующие постановки поисковых и опробовательских работ с применением горных выработок, бурения и детальных геофизических исследований); 5 — площади распространения рудоуправляющих признаков и благоприятных структур без выявленной рудной минерализации или с редкими находками ее (требующие постановки

поисковых работ с применением геофизических исследований и поверхностных горных выработок); 6 — площади, недостаточно изученные для определения их промышленных перспектив, рекомендуемые для геологической съемки более крупного масштаба; Б — площади, не требующие в настоящее время постановки дополнительных работ; 7 — площади, геологическое строение которых по известным в настоящее время данным неблагоприятно для промышленных концентраций рудных элементов; 8 — площади, уже обследованные на известные в районе рудные элементы; полученные результаты отрицательны; 9 — месторождения и рудопроявления: а — перспективные, требующие постановки разведочных работ; б — бесперспективные; 10 — месторождения: а — разведанные, б — эксплуатируемые, в — отработанные; 11 — залежи руд: а — крупные, б — средние, в — мелкие, з —

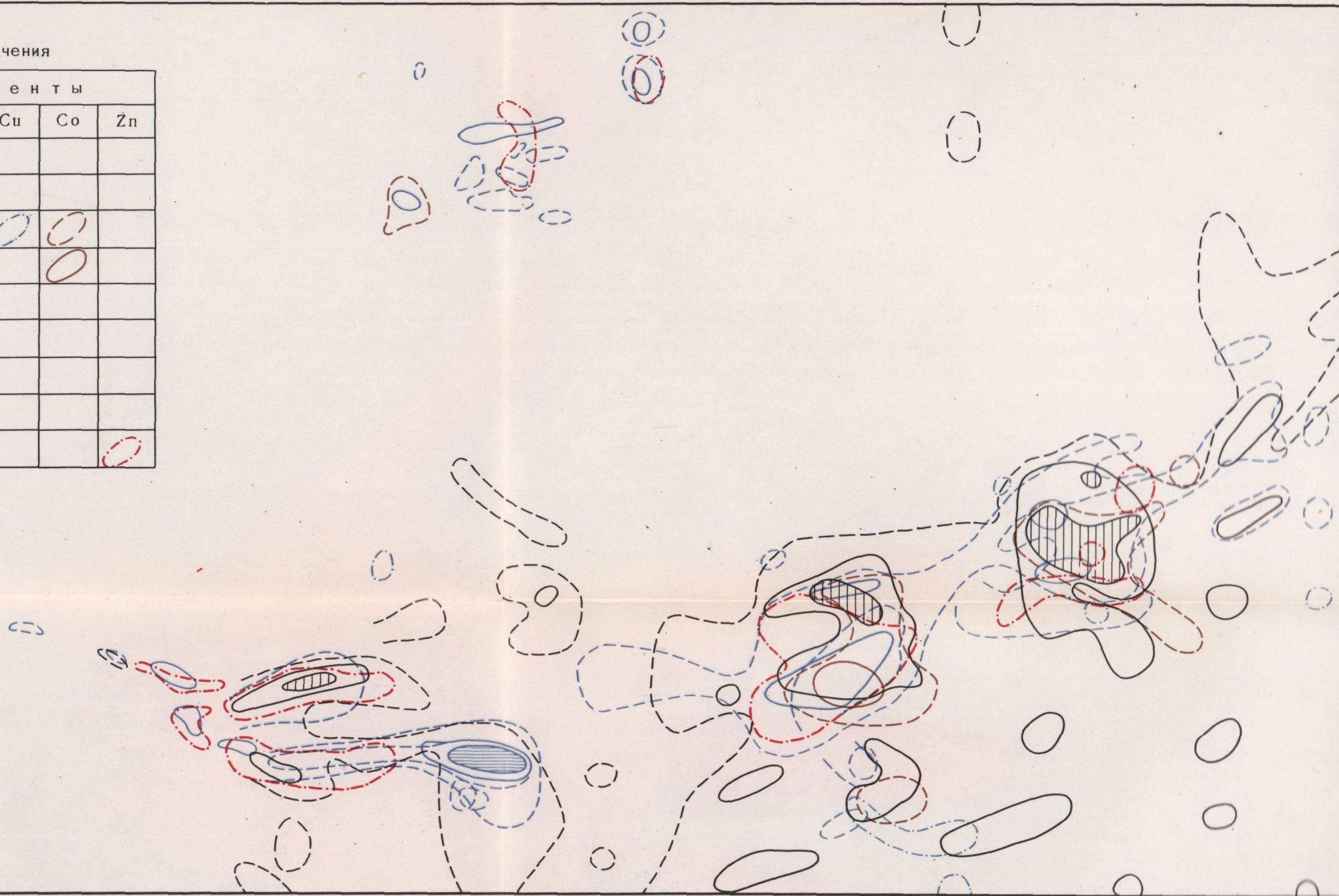


**Приложение 1. Фрагмент металлогенической карты Атасуйского рудного района, составленной Л. Н. Павленко под руководством А. А. Рожнова (с упрощениями автора)**  
 Каменноугольная система, нижний отдел, визейский ярус: 1 — полимиктовые песчаники, углистые аргиллиты ( $C_{1v3-n}$ ); 2 — песчаники, алевролиты, аргиллиты ( $C_{1v2}$ ); 3 — глинистые известняки ( $C_{1v1}$ ); 4 — глинисто-кремнисто-карбонатные породы ( $C_{1v1}$ ). Турнейский ярус: 5 — кремнистые известняки ( $C_{1t2}^2$ ); 6 — желваковистые известняки ( $C_{1t2}^1$ ); 7 — углистые известняки ( $C_{1t1}^2$ ); 8 — кремнистые известняки ( $C_{1t1}^1$ ). Девонская система, верхний отдел, фаменский ярус: 9 — красочетные известняки, железисто-марганцовисто-кремнисто-карбонатные породы ( $D_3fm_3$ ); 10 — кремнистые известняки ( $D_3fm_1^{1+2}$ ); 11 — известняки, углисто-глинисто-кремнисто-карбонатные породы ( $D_3fm_1^2$ ); 12 — известняки ( $D_3fr$ ). Франский ярус: 13 — песчаники ( $D_3fr$ );

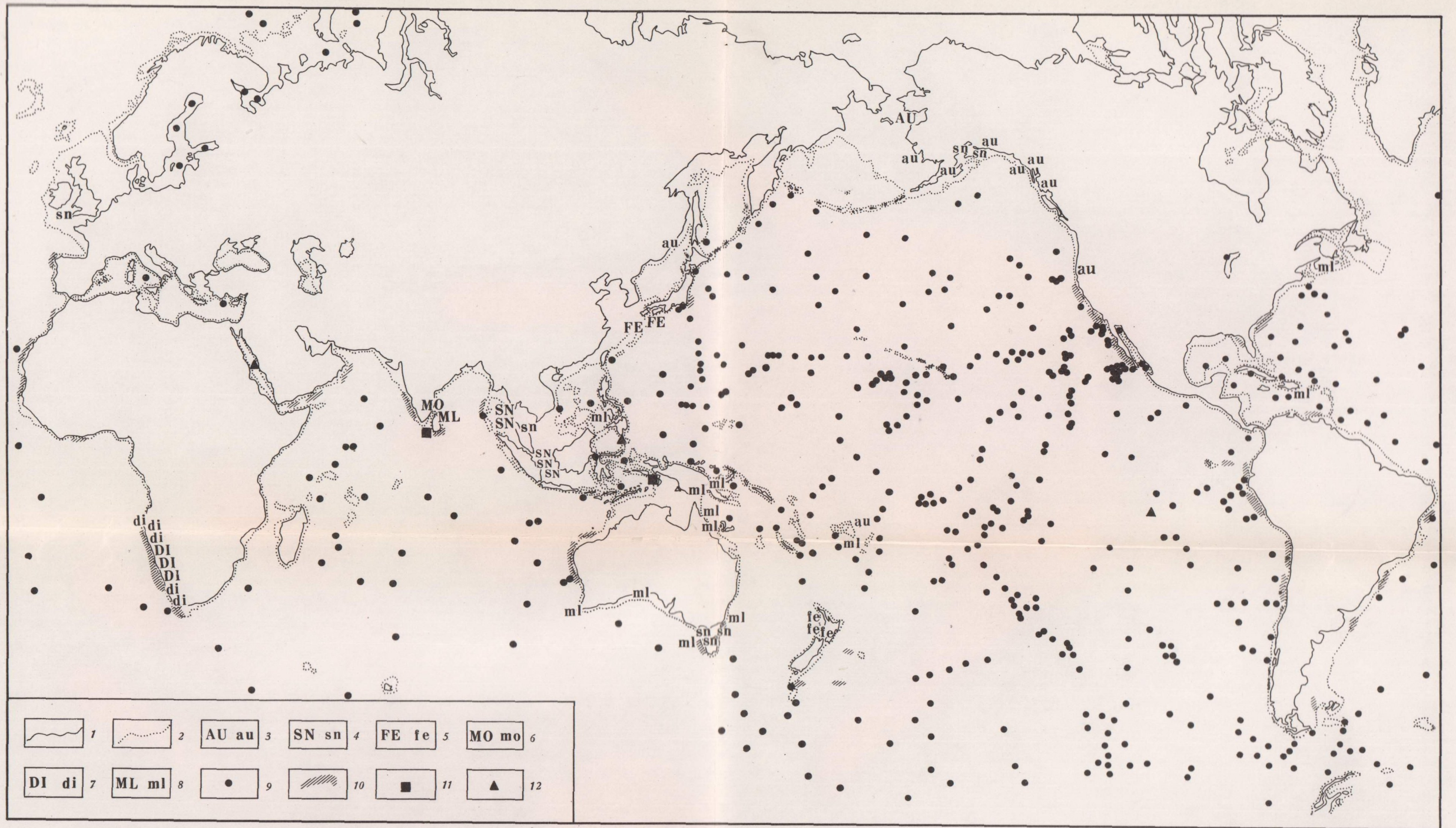
14 — конгломераты ( $D_3fr$ ), живетский и франский ярусы нерасчлененные; 15 — лавы, туфы и другие пирокластические образования преимущественно кислого состава ( $D_2gv-D_3fr$ ). Кайдаульская свита: 16 — туфы кислого состава ( $D_{1-2}kd_2$ ); 17 — лавы преимущественно андезитовых порфиритов ( $D_{1-2}kd_1$ ).  
 Ордовикская система: 18 — песчаники ( $O_{2-3}$ ). Нижнекаменноугольные эффузивы: 19 — диабазы ( $v\beta C_1$ ). Нижнекаменноугольные интрузивы: 20 — граниты ( $\gamma_1 C_1$ ). Девонские интрузивы: 21 — гранодиориты ( $\gamma_2 D_3$ ). Геологические формации: 22 — терригенная; 23 — вулканогенно-кремнисто-карбонатная; 24 — подформация кремнисто-карбонатных пород; 25 — вулканогенно-терригенно-молассовая; 26 — порфировая; 27 — кремнисто-терригенно-флишoidная; 28 — контуры рудных полей и совпадающих с ними аномалий; 29 — рудопроявления свинца и цинка; 30 — пластовые и межпластовые залежи железных и марганцевых руд: а — крупные, б — средние, в — мелкие, г — рудопроявления; 31 — крупноамплитудные разломы: а — достоверные, б — предполагаемые; 32 — линии тектонических контактов: а — достоверных, б — предполагаемых; 33 — элементы залегания осадочных пород: а — достоверные, б — предполагаемые; 34 — границы несогласно залегающих пород: а — достоверные, б — предполагаемые; 35 — окремнение и окварцевание; 36 — контактовые роговики.

Условные обозначения

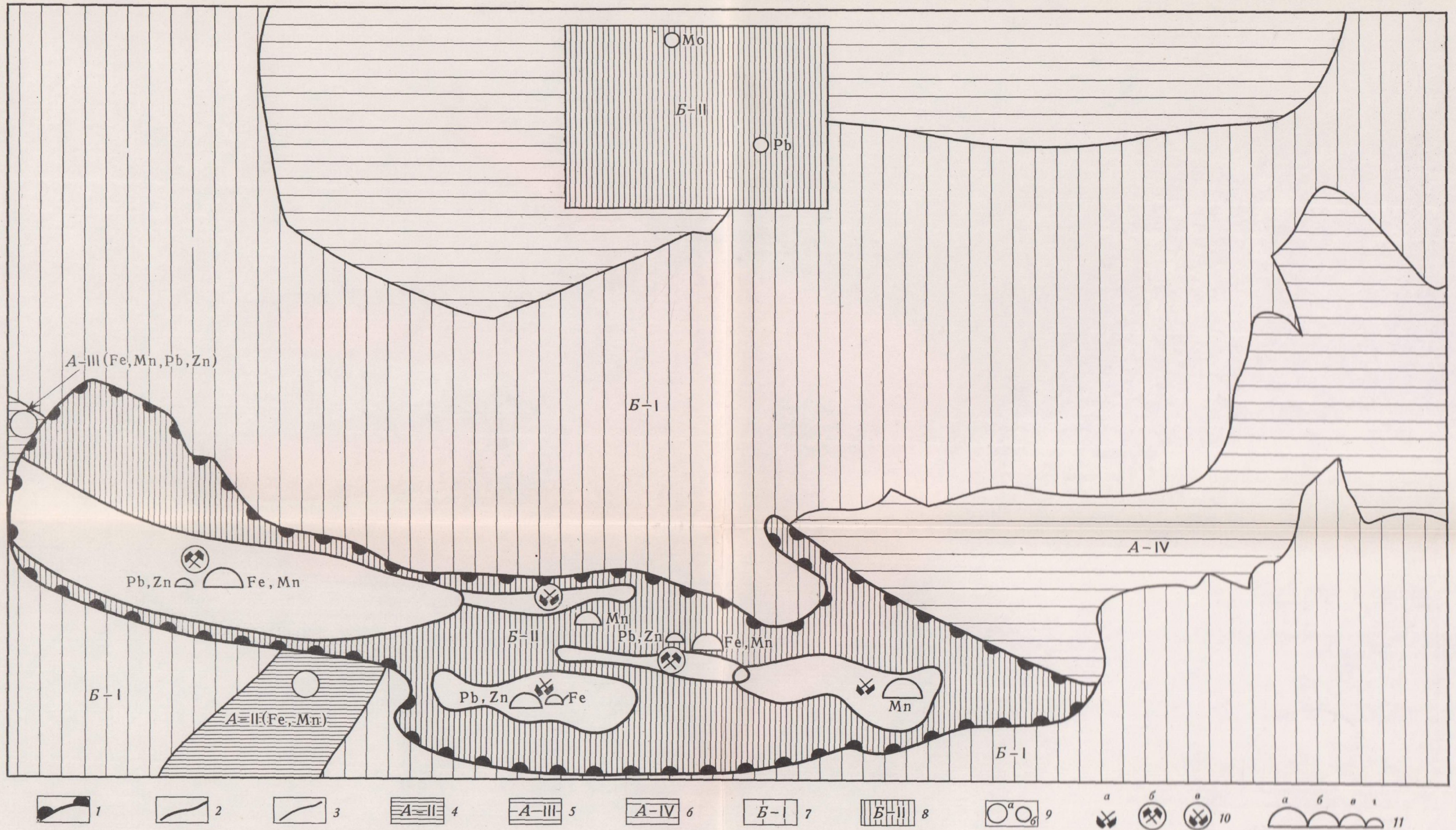
Содержание %%	Э л е м е н т ы				
	Mn	Pb	Cu	Co	Zn
0,001					
сл.-0,01					
0,01 - 0,02		○	○	○	
0,02 - 0,07		○		○	
0,06 - 1,25	○				
1,25 - 5,0	○				
> 5,0	▨				
0,07 - 0,3		▨			
0,07 - 0,15					○



Приложение 2. Результаты литохимической съемки (карта ореолов рассеяния). Накладка к металлогенической карте (см. прилож. 1).



Приложение 4. Карта подводных минеральных накоплений по П. Буиссе (Bouysse, 1970)  
 1 — берега континентов; 2 — граница континентального шельфа. Прибрежные россыпи: 3 — золота и драгоценных металлов; 4 — олова; 5 — магнетита; 6 — монацита; 7 — алмазов; 8 — тяжелых металлов (крупные буквы — эксплуатирующиеся месторождения, мелкие — зоны для проведения поисков); 9 — железо-марганцевые конкреции; 10 — фосфориты (прибрежные); 11 — барит, 12 — подводные гидротермы и связанные с ними осадки.



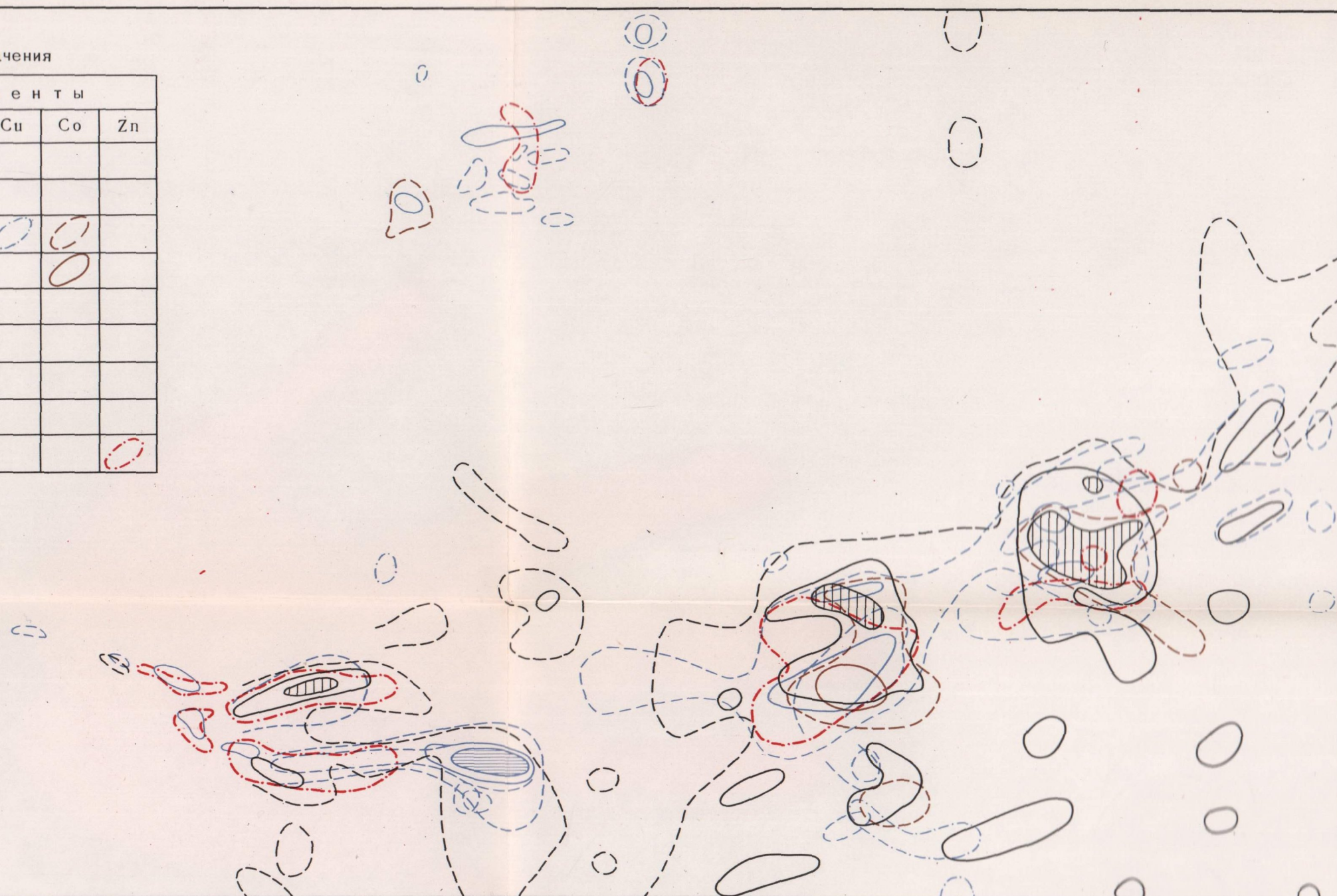
Приложение 3. Металлогеническая карта прогноза (фрагмент). Составила Л. Н. Павленко под руководством А. А. Рожнова

Металлогеническое районирование: 1 — граница рудного узла; 2 — граница рудного поля; 3 — граница участков с различной перспективностью в пределах одного рудного узла или зоны. Площади, выделяемые в пределах рудных и потенциально рудных зон и узлов: А — площади, требующие постановки определенного вида работ; 4 — площади распространения прямых рудоуправляющих признаков с выявленными рудопроявлениями (требующие постановки поисковых и опробовательских работ с применением горных выработок, бурения и детальных геофизических исследований); 5 — площади распространения рудоуправляющих признаков и благоприятных структур без выявленной рудной минерализации или с редкими находками ее (требующие постановки

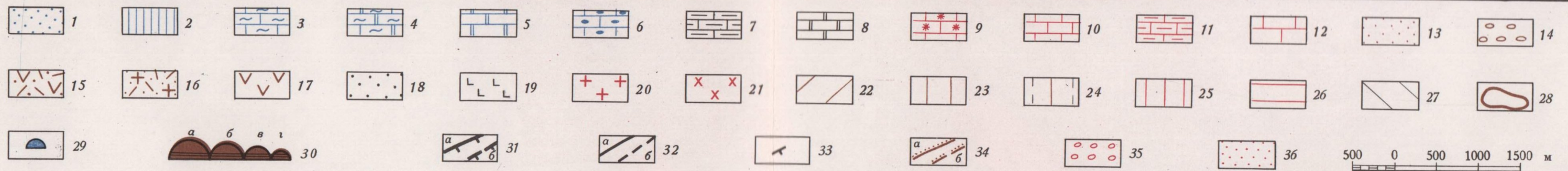
поисковых работ с применением геофизических исследований и поверхностных горных выработок); 6 — площади, недостаточно изученные для определения их промышленных перспектив, рекомендуемые для геологической съемки более крупного масштаба; Б — площади, не требующие в настоящее время постановки дополнительных работ; 7 — площади, геологическое строение которых по известным в настоящее время данным неблагоприятно для промышленных концентраций рудных элементов; 8 — площади, уже обследованные на известные в районе рудные элементы; полученные результаты отрицательны; 9 — месторождения и рудопоявления: а — перспективные, требующие постановки разведочных работ; б — бесперспективные; 10 — месторождения: а — разведанные, б — эксплуатируемые, в — отработанные; 11 — залежи руд: а — крупные, б — средние, в — мелкие, 2 — рудопоявления.

Условные обозначения

Содержание %%	Э л е м е н т ы				
	Mn	Pb	Cu	Co	Zn
0,001					
сл.-0,01					
0,01 - 0,02		○	○	○	
0,02 - 0,07		○		○	
0,06 - 1,25	○				
1,25 - 5,0	○				
> 5,0	▨				
0,07 - 0,3		▨			
0,07 - 0,15					○

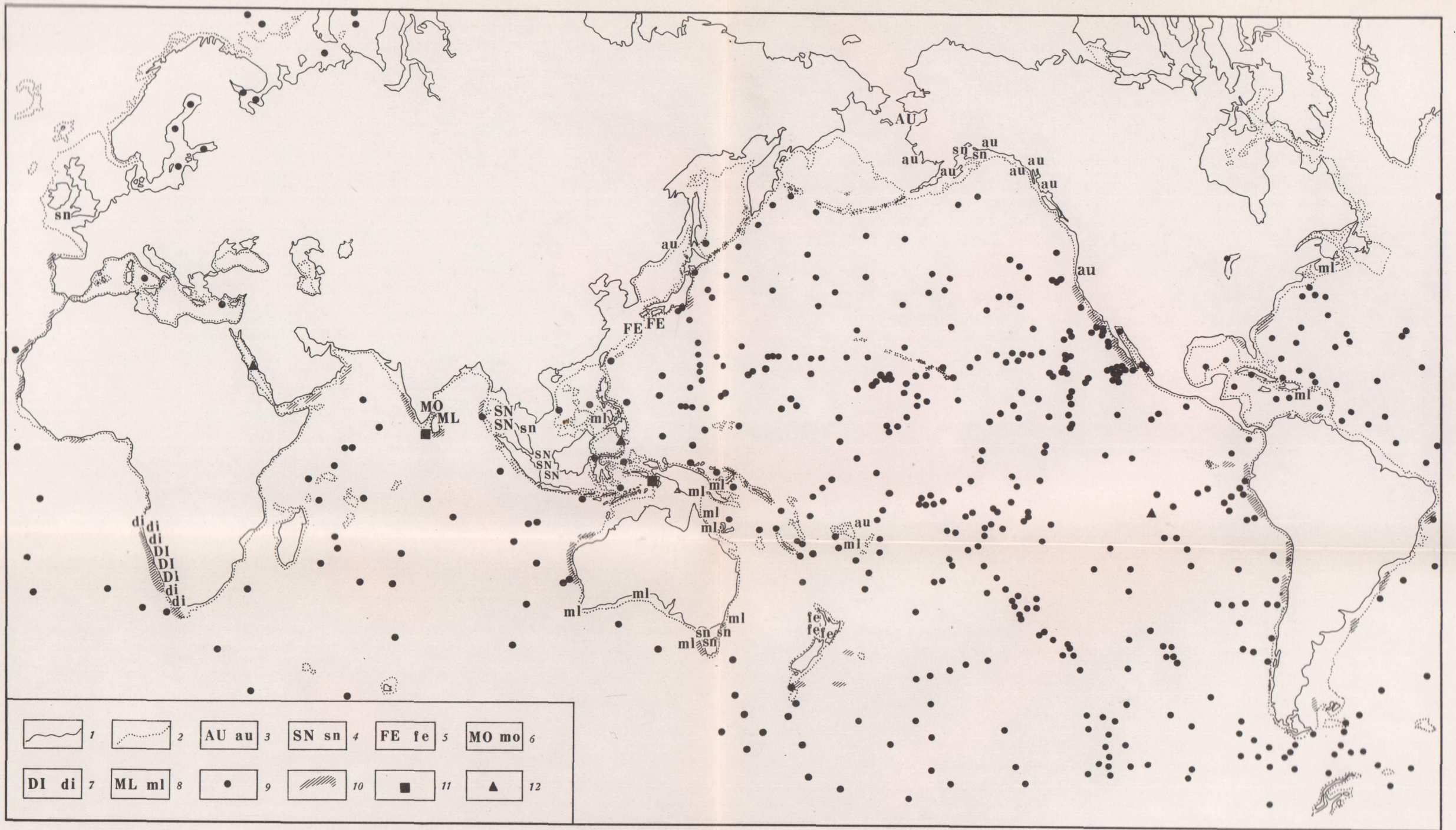


Приложение 2. Результаты литохимической съемки (карта ореолов рассеяния). Накладка к металлогенической карте (см. прилож. 1).



**Приложение 1. Фрагмент металлогенической карты Атасуйского рудного района, составленной Л. Н. Павленко под руководством А. А. Рожнова (с упрощениями автора)**  
 Каменноугольная система, нижний отдел, визейский ярус: 1 — полимиктовые песчаники, углистые аргиллиты ( $C_1v_3-n$ ); 2 — песчаники, алевролиты, аргиллиты ( $C_1v_2$ ); 3 — глинистые известняки ( $C_1v_1$ ); 4 — глинисто-кремнисто-карбонатные породы ( $C_1v_1$ ). Турнейский ярус: 5 — кремнистые известняки ( $C_1t_2$ ); 6 — желваковистые известняки ( $C_1t_2$ ); 7 — углистые известняки ( $C_1t_1$ ); 8 — кремнистые известняки ( $C_1t_1$ ).  
 Devonская система, верхний отдел, фаменский ярус: 9 — красноцветные известняки, железисто-марганцовисто-кремнисто-карбонатные породы ( $D_3fm_2$ ); 10 — кремнистые известняки ( $D_3fm_1^{1+2}$ ); 11 — известняки, углисто-глинисто-кремнисто-карбонатные породы ( $D_3fm_1$ ). Франский ярус: 13 — песчаники ( $D_3fr$ );

14 — конгломераты ( $D_3fr$ ), живетский и франский ярусы нерасчлененные; 15 — лавы, туфы и другие пирокластические образования преимущественно кислого состава ( $D_2gv-D_3fr$ ).  
 Кайошадльская свита: 16 — туфы кислого состава ( $D_{1-2}kd_2$ ); 17 — лавы преимущественно андезитовых порфиритов ( $D_{1-2}kd_1$ ).  
 Ордовикская система: 18 — песчаники ( $O_{2-3}$ ). Нижнекаменноугольные эффузивы: 19 — диабазы ( $\gamma\beta C_1$ ). Нижнекаменноугольные интрузивы: 20 — граниты ( $\gamma C_1$ ).  
 Devonские интрузивы: 21 — гранодиориты ( $\gamma\delta_2 D_3$ ). Геологические формации: 22 — терригенная; 23 — вулканогенно-кремнисто-карбонатная; 24 — подформация кремнисто-карбонатных пород; 25 — вулканогенно-терригенно-молассовая; 26 — порфиритовая; 27 — кремнисто-терригенно-флишеидная; 28 — контуры рудных полей и совпадающих с ними аномалий; 29 — рудопроявления свинца и цинка; 30 — пластовые и межпластовые залежи железных и марганцевых руд: а — крупные, б — средние, в — мелкие, г — рудопроявления; 31 — крупноамплитудные разломы: а — достоверные, б — предполагаемые; 32 — линии тектонических контактов: а — достоверных, б — предполагаемых; 33 — элементы осадочных пород: а — достоверные, б — предполагаемые; 34 — границы несогласно залегающих пород: а — достоверные, б — предполагаемые; 35 — окремнение и окварцевание; 36 — контактовые роговики.



Приложение 4. Карта подводных минеральных накоплений по П. Буйссе (Bouysse, 1970)  
 1 — берега континентов; 2 — граница континентального шельфа. Прибрежные россыпи: 3 — золота и драгоценных металлов; 4 — олова; 5 — магнетита; 6 — монаита; 7 — алмазов; 8 — тяжелых металлов (крупные буквы — эксплуатирующиеся месторождения, мелкие — зоны для проведения поисков); 9 — железо-марганцевые конкреции; 10 — фосфориты (прибрежные); 11 — барит; 12 — подводные гидротермы и связанные с ними осадки.