

М. М. Василевский,

доктор геолого-минералогических наук

рожденные в огне



*(Современные проблемы
рудной вулканологии)*

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1976**

В19 Василевский М. М.

Рожденные в огне. М.,

«Знание», 1976.

96с.+ 1,0 л. илл. (Нар. ун-т. Естественнонаучный фак.)

Вулканические процессы — это не только катастрофы, несущие гибель. Стала очевидной их созидаящая роль. В огне вулканов рождаются горы, хребты, острова в Мировом океане. Вулканы дают ключ к познанию жизни глубин Земли, к изучению богатств ее недр. Изучение этих грозных явлений сделало возможным их прогнозирование, разработку мер защиты от них.

Книга предназначена для слушателей народных университетов естественнонаучных знаний.

В $\frac{20805-025}{073(02) - 76}$ 118—76

552

В настоящее время вулканические процессы стали областью пристального внимания одной из самых молодых наук о Земле — вулканологии. И главным результатом изучения этих грозных явлений, помимо возможностей их прогнозирования и разработки мер защиты от них, явилось осознание того, что вулканы несут не только ужас и гибель — они создают Землю.

В огне вулканов рождаются горы, хребты, острова в Мировом океане. Они характеризуют общий геологический процесс обновления нашей планеты, поставляя на поверхность вещество и энергию ее глубин. Сама среда обитания жизни во всем многообразии ее форм порождена недрами планеты. Кроме того, ученые все более и более уверенно могут утверждать, что зарождение жизни на нашей планете связано с вулканами. С «корнями» вулканов уже на протяжении миллиардов лет геологической жизни Земли связано образование почти всего многообразия богатств ее недр — золота, серебра, меди, свинца, железа, ртути и многих других металлов, последовательное освоение которых стимулировало прогресс в развитии человечества.

Разрушительная энергия вулканических катастроф является лишь ничтожной частью бесконечного потока энергии областей вулканической деятельности, которую человек уже научился использовать. Существует мнение, что и формирование «черного золота» — нефти имеет своей первопричиной глубинные химические превращения в областях вулканизма.

Вулканология — самая древняя и самая молодая область в семье наук о Земле. Сейчас она переживает новое

рождение. Люди этой науки имеют возможность с мерой и весами подойти к оценке вулканических явлений, связать поверхностные процессы с жизнью подкорковых глубин Земли. Разнообразны подходы к этому явлению, различны и методы.

Один из первых вопросов, который встает перед теми, кто изучает вулканы, — каковы законы их распределения по поверхности Земли? За последние 50—70 лет изучены протяженные пояса вулканизма, своеобразные «огненные кольца» планеты, которые располагаются вдоль расколов земной коры, пересекающих континенты и океаны, цепи вулканических сооружений, связанных с островными цепями Мирового океана и горными окраинами континентов. Огромные поля вулканических пород покрывают ложе Мирового океана. Установлены и древние вулканические пояса, пересекавшие земную поверхность десятки, сотни миллионов и даже миллиарды лет назад.

Изучение древних и современных вулканических процессов позволяет понять законы геологического развития планеты Земля, ответить на второй важнейший вопрос: всегда ли вулканы были такими, какими мы их видим сегодня? Каждый вулкан извергается в определенном режиме. Установлены и более крупные ритмы вулканической активности, отражающие общий пульс нашей планеты. От многих миллионов до отдельных лет — таковы масштабы этих пульсов. Продолжительность ритмов одного порядка сокращается в ходе геологической истории Земли, отражая закономерную эволюцию планеты.

Особый интерес к вулканам, проявленный геологами, а теперь и учеными многих других специальностей, связан с тем, что вулканы дают ключ к познанию жизни глубин Земли. Ведь каждый вулкан — природная скважина, достигающая глубины от единиц до десятков километров. Вулканы выносят на поверхность Земли обломки вещества недр, в которых зарождаются огнепожидкие магмы. Это дает прямой ответ на вопрос о том, чем сложены глубинные оболочки Земли, какие процессы там протекают.

Долг ученых — приблизить действительно полное использование всех богатств, которыми располагает человечество. В будущем геолого-экономическом районировании современного мира несомненно опять примут участие вулканы, на этот раз подводные.

ЧЕЛОВЕК И ВУЛКАНЫ

«Жизнь па вулкане», «около вукана» — с незапамятных времен это был образ опасности. Действительно, кому не известны получившие историческую известность катастрофические извержения таких вулканов, как Везувий, Кракатау, Этна, Катмай, Мауна-Лоа, Упен, и многих других. Как пишет один из виднейших геологов России И. В. Мункетов, «величественность проявления вулканизма, таинственность причин и, наконец, разрушительные последствия его на поверхности издавна вызывали у людей живейший интерес к нему». Наблюдения над вулканическими явлениями по времени существования могут быть поставлены рядом с наблюдениями за небесными светилами.

Извержению иногда предшествует землетрясение. Так, например, слу-



чилось в 1762 году на Филиппинских островах: мощный подземный гул начался за 7 месяцев до начала извержения вулкана Таал. За 16 лет до катастрофического извержения Везувия в 79 году происходили землетрясения, которые уже частично разрушили города, впоследствии засыпанные продуктами вулканической деятельности. Вулканические бомбы в Неаполе называют «слезами Везувия». Надо заметить, что эти «слезы» вулканов, отброшенные на несколько сот метров от кратера, достигают величины железнодорожного вагона.

Раскаленный пепел вулканов нередко образует «палящие тучи». Такие тяжелые тучи вулкана Мон-Пеле на острове Мартиника катились вниз с возрастающей скоростью сильного урагана, имея высоту до 4000 метров. Температура тучи на расстоянии 8 километров от кратера была 200° С. Город у подножия вулкана был сожжен и снесен. Давление этой тучи было так велико, что отбрасывало статуи в несколько тонн весом. Люди и животные гибли в горячих парах, хотя одежда не воспламенялась. Так же погибло 25 000 жителей Помпеи и Геркуланума в 79 году.

Количество пепла при извержениях бывает огромно, и он переносится на большие расстояния. В 1872 году Везувий засыпал пеплом все улицы близлежащих городов всего за три дня. В 1906 году при извержении того же Везувия от тяжести пепла обрушились крыши домов, а первые этажи зданий были им засыпаны. При извержении вулкана Катмай на Аляске в 1912 году на 60 часов в округе опустилась сплошная темнота.

Корабли едва могли пробираться сквозь слой пепла, выброшенного в 1834 году из небольшого, всего 500 футов высотой, вулкана Козегвино у залива Фонсека в Центральной Америке. Такие же затруднения испытывали корабли и около острова Суматра при извержении вулкана Темборо в 1815 году. На Борнео, в 1400 верстах к югу, падение пепла было настолько сильное, что местные жители, пораженные этим явлением, стали вести свое летоисчисление от «большого падения пепла».

При знаменитом извержении вулкана Кракатау на Гавайских островах в 1883 году пароход в заливе Ламнопт из-за темноты, вызванной густотой повисшего в воздухе пепла, был вынужден остановиться. Взрывы на вулкане 26—27 августа были слышны на огромных рас-

стояниях. Ученые подсчитали, например, что если бы источник их находился в центре Европы в Амстердаме, то эти взрывы были бы слышны в пустыне Сахара и на Урале, на Канарских и Азорских островах и в Гренландии. Воздушные волны, распространявшиеся со скоростью звука, обошли земной шар три раза. Они выдавливали окна и двери домов, расположенных в 800 километрах от центра извержения. В океанской волне, вызванной воздушной волной взрыва, на острове Сабези погибло 35 000 человек.

Обломки пемзы, которые выбрасываются вулканами при извержениях, плавают в море и иногда покрывают его поверхность таким толстым слоем, что затрудняют судоходство. После извержения одного из вулканов на побережье Японии по такому плавающему слою можно было пройти в море далеко от берега.

Кроме «бомб» и пемзы, в процессе извержения некоторых вулканов выделяется огромное количество водяного пара. Конденсаты пара одного из кратеров Этны составили бы за 100 дней полтора миллиарда литров воды. Столбы такого пара достигают в высоту 2; 5; 11 и даже 30 километров (например, на вулкане Кракатау 26 августа 1883 г.). Как пишут очевидцы, даже самые сильные бури не в состоянии отклонить или поколебать этот исполинский столб.

Ливни и вызванные ими потоки вулканической грязи, лахары, нередко оказываются еще более опасными, чем раскаленно-жидкие лавы и «палящие пепловые тучи». Эти жидкие грязевые потоки, увлекающие с собой и в себе глыбы величиной с двухэтажные дома, устремляются вниз по склонам вулканов с огромной скоростью. Грязевой поток, прошедший в 1122 году по склонам Везувия, «похоронил» местечки Сан-Себастьяно и Масса.

В Исландии при каждом извержении долины заливаются чудовищными потоками, увлекающими с собой льдины, шлаки, целые скалы и смывающими все, что есть на пути. Жители острова ничего так не боятся, как этих жидких лавин, или «водяных лав».

«Бешепые» грязевые потоки, образовавшиеся при извержении вулкана Агва (Водяного) в 1541 году, разрушили город Гватемалу. Город был перенесен к подножию вулкана Фуэго (Огненного), но был снова разрушен уже извержением вулкана Фуэго. И лишь теперь он находится в безопасном месте.

В Японии в 1793 году на острове Кюсю извержение вулкана Яши-Яма образовало грязевой поток, который затопил многие селения, где погибло 53 000 человек.

В июне 1840 года, по свидетельствам очевидцев, громадные черные облака облекли вершину горы Арарат. В окрестностях распространился «серный» запах. И хотя извержение продолжалось не более часа, деревня Аргюре (Архури) и знаменитый монастырь Святого Иакова со всеми жителями погибли под потоками грязи и камней, величина которых доходила до нескольких десятков метров в диаметре.

Несомненно, такие устрашающие и нередко смертоносные явления, как вулканические извержения, с глубокой древности до совсем недавнего времени являлись источниками поклонения, обожествления, создания многочисленных религиозных мифов и легенд. Даже не имея возможности проследить возникновение и развитие культов «подземного огня», в доисторические эпохи на примерах таких развитых цивилизаций, как Греция и Рим, можно видеть, как древние создавали о вулканах мифы. Место извержения они считали дверью в подземный мир. Само извержение приписывали работе Гефестоса (Вулкана), приготавливающего молнии для Юпитера.

Острова Циклопов, или Фаральоны, недалеко от подпожия Этны, образовались, согласно преданиям, из тех камней, которые циклоп Полифем бросал в корабли Улисса.

И в каких других ландшафтных областях земного шара нет такого количества названий мест («чертова» стена, «дьяволово» ущелье), как в вулканических. Многие местные географические названия таких районов вулканизма, как Камчатка и Курильские острова, отражают следы совсем недавних культов, идолопоклонения, связанного со страхом перед деятельностью вулканов.

Особенно широко обожествление вулканов распространено среди жителей Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америк, где разрушительные последствия вулканической деятельности были особенно сильными.

На острове Ява вулкан Семеру посвящен древними жителями Шиве — богу разрушения, а вулкан Сумбанг считается «гвоздем, которым Ява прикреплена к Земле». Совсем недавно жители Явы и Мексики почитали вулканы как божества, требующие даже и человеческих жертвоприношений. У населения Новой Зеландии считалось,

что вулкан Тонгариро является единственным местом, достойным принимать тела прославившихся предводителей племени. Погибших воинов бросали в кратер, где, как считалось, они будут находиться «в лоне богов».

Примеры подобного религиозного отношения к вулканам и истолкования причин вулканических извержений, конечно, несравнимо многочисленнее приведенных. И в этой связи особенно интересно и важно отметить, что уже в древности, к которой восходит создание религиозных мифов и легенд, были ученые, первые «вулканологи», которые видели в этих явлениях процесс, отражающий естественную жизнь Земли, и давали им материалистические объяснения.

Эмпедокл Агригентский за 450 лет до нашей эры связывал вулканизм и горообразование с землетрясениями, причину которых он видел в «центральной огне». Греческий историк и географ Страбон видел причину горообразования в напоре газов и паров, выделяющихся при вулканических извержениях.

Рассказывая о проявлениях вулканизма, мы вольно или невольно все время связываем эти явления с судьбой человека. Это не случайно. Более того, не боясь преувеличения, можно утверждать, что не только катастрофы в судьбах отдельных городов, районов, а возможно, и стран (например, Атлантида), но и вся история человечества, история возникновения, развития и эволюции материальных культур и производительных сил по крайней мере в каменном, медно-каменном, бронзовом и античном веках в той или иной мере связана с вулканами, с результатами вулканической и поствулканической деятельности геологического настоящего и прошлого. Вместе с вулканическим пеплом тогда люди получали естественные минеральные удобрения (вулканические соли). Именно это плодородие во многом определяло привязанности человека к легко обрабатываемым землям вулканических областей (особенно в Юго-Восточной Азии), несмотря на таящуюся опасность для жизни. К самым неожиданным выводам приводит анализ связи с «вулканизмом» развития материальных культур и производительных сил в истории развития общества.

Рудные полезные ископаемые — самородки золота и меди (а еще раньше вулканические породы — лава, обсидианы, вулканические стекла) были первыми и наиболее важными полезными ископаемыми доисторического пе-

риода развития человечества. Рудное сырье и изделия из камня на протяжении позднейших тысячелетий истории человечества являлись «средствами производства для средств производства».

Исходя из того, что суждения о становлении и развитии материальных культур человечества в доисторические (до возникновения письменности) эпохи и вплоть до средневековья мы складываем, познавая виды сырья и изделия из него (в том числе и орудий труда), сам этот процесс познания предстает перед нами в своеобразном геологическом аспекте. Ниже мы попытаемся, опираясь на весьма схематичные и, конечно, неполные сведения, показать отчетливую связь и причинную обусловленность в возникновении и размещении очагов примитивного производства, а позднее материальных культур с наиболее яркими проявлениями глубинной жизни Земли, с явлениями вулканизма. Ведь первым в истории человечества источником рудного и нерудного сырья для производства средств производства служили именно вулканы молодые и древние.

В Европе неолит кончается в III—II тысячелетиях до нашей эры (отметим, что на «окраинах» человечества материальная культура неолита датируется концом XVIII века (айнские поселения на Курильских островах). II тысячелетие до нашей эры — медно-каменный (халколит) и бронзовый века. С XIV века до нашей эры начался железный век. На Древнем Востоке и в Древнем Египте медно-каменный и бронзовый века начались на 1000 лет и более раньше.

Огромная разница объясняется тем, что Древний Восток и Древний Египет (последний в качестве импортера) первыми освоили наиболее легко обрабатываемые медные руды вулканического происхождения, источником которых являлись области третичного вулканизма Понтид (южное побережье Черного моря), Балканы и Закавказье. Такой же древней материальной культурой медно-каменного и бронзового веков обладает Индия, импортировавшая медные руды областей третичного вулканизма Ирана и Афганистана. Руды вулканического происхождения, нередко очень богатые соединениями металлов, окисление которых на поверхности приводит к образованию ярко окрашенных вторичных (окисленных) руд, действительно могли вызвать и вызывали у древних людей интерес к ним. Это и привело к быстрейшему освоению

сырья. Интересно, что и первые точные датировки памятников неолита, медно-каменного века и ранней бронзы известны для мощных очагов этих древнейших культур в рудных районах третичного вулканизма Закавказья, Малой Азии и Балкан.

Наиболее раннее орудие труда — камень, как правило, был вулканического происхождения: базальт, обсидиан. Наиболее ранние металлы — металлы, обнаруженные в рудах древних вулканов, рудах «вулканического» происхождения — золото, затем медь, в том числе и самородная (месторождения медно-цеолитового типа) и серебро. В медно-каменном веке орудиями из вулканических пород человек оттачивал и обрабатывал изделия из металлов, рожденных вулканами.

В районах Северной Америки, где медно-каменный век продолжался до начала XVIII века, источником меди также служили руды вулканического происхождения, самые древнейшие из известных на Земле, — это самородная медь района Великих Озер. Первыми открывателями руд были, как правило, кочевники-охотники и скотоводы. Однако скотоводы-мормоны, поселявшиеся на границе США и Канады, были не только открывателями месторождений, но и их стражами, с оружием в руках пытавшимися приостановить их освоение и приток «инноверцев», которые могли подорвать их материальное благополучие.

Добыча руды, выплавка металла, его обработка определяли положение горнорудного и ремесленного предприятия и растущего вокруг него поселения. Горняки-ремесленники становились горожанами, так как с возникновением крупного рудника около него вырастал город. Таким образом, иногда фактором, определяющим место очага материальной культуры, являлся фактор геологический, а центром этого очага — месторождение или рудный район.

Покажем на нескольких примерах, что эти центры и рудные районы, характеризующие экономическое районирование древнего мира, в абсолютном большинстве случаев имели вулканическое происхождение или безусловно развивались на базе сырья, импортируемого из областей проявления вулканизма.

Общества древней оседлой земледельческой культуры Южного Двуречья (IV тыс. до н. э.) вели товарообмен с горными племенами Понтида (например, Турции и

Закавказья). Наиболее мощные культуры медного века в Европе около 2800 лет до нашей эры формировались в греческих государствах, т. е. тоже в областях интенсивного проявления третичного вулканизма и связанного с ним рудообразования.

В 2000 году до нашей эры начался медно-каменный век на юге Восточной Европы в вулканических областях Балкан, Трансильвании, Словакии, Чехии. Открытие в Чехии оловянных месторождений привело к началу бронзового века. Столь же древними являются здесь вулканические руды золота и серебра, некоторые из которых разрабатываются и в настоящее время.

Если попытаться проследить соответствие материальных культур геологическому строению областей или, еще конкретнее, наличию вулканогенно-рудных районов для какого-либо одного «временного среза» (например, 1400 г. до н. э.), выясняется очень интересная корреляция. Север Европы (Дания, Голландия, Бельгия, страны Балтийского моря, Германия), лишенный эндогенных, глубинных, пород, находится на стадии каменного века — неолита. В это же время Западная Испания и Португалия, Древний Урал, области проявления однотипного и даже одновозрастного герцинского вулканизма и рудообразования (медно-колчеданные месторождения), находятся в медно-каменном веке (разница в развитии — в тысячелетия), а древнейшие вулканогенные рудные районы Балкан, Кавказа и Причерноморья — в бронзовом.

Установлено, что современные вулканы являются своеобразными «поисковыми признаками» на более древние рудные вулканические районы и месторождения. В этом смысле не исключение и вулканы Синайского полуострова.

Этот полуостров известен древнейшими из разрабатывавшихся вулканическими месторождениями меди. Надписи времен I династии Раннего царства (около 3000 лет до н. э.), найденные на Синае, показывают, что уже в то время велась добыча бирюзы, из которой выплавлялась медь.

В IV—III тысячелетии до нашей эры в Двуречье господствовали медные орудия, сменившиеся затем бронзовыми. Медью производство Двуречья снабжали месторождения вулканического происхождения сегодняшней Турции, не потерявшими экономического значения и по настоящее время. Мышьяк и сурьма, необходимые при

бронзовом литье, также имеют вулканическое происхождение (они входили в состав первичных руд либо специально добывались для производственных целей в вулканических горных районах Ирана).

В некоторых местах до настоящего времени сохранились «отходы» руды (до 1,25—2 млн. т с содержанием меди 2%) от древних разработок. Это очень богатые по современным требованиям к сырью руды. Наше Закавказье с его молодыми и древними вулканами служило «первоначальной колыбелью металлургии», а следовательно, и двигателем развития материальных культур древности.

Египтяне, несомненно, получили навык обработки меди из Месопотамии через Сирию, от представителей арменоидной расы, которая появилась в Нижнем Египте, по-видимому, еще задолго до конца додинастического периода. Арменоиды первоначально добывали медь в горах современной Армении, где, без сомнения, добывали ее вначале месопотамцы. Более того, древняя Армения являлась и очагом революции «железного века». Волна этой революции только позднее докатилась до других наиболее мощных культур бронзового века.

Столь же древними (III тысячелетие до н. э.) являются разработки золота в Армении. В то время уже началась эксплуатация вулканического (миоценового по возрасту) Зодского месторождения, представляющего важный промышленный объект и сегодня.

Разработка древними хеттами Армении, кроме меди, еще свинцово-цинковых, мышьяковистых, сурьмяных и марганцевых вулканических руд позволила им выплавлять бронзу четырнадцати типов. Источниками сырья служили разрабатываемые и в настоящее время месторождения Армении, Азербайджана и Грузии, на которых советские геологи успешно решают теоретические вопросы вулканогенного рудообразования.

С III тысячелетия до нашей эры известны культуры рапней бронзы (2800—2000 гг.) и средней бронзы (2000—1500 гг.) в истории Греции. Источником меди, а позднее серебра опять-таки служили вулканические (третичные) руды. Добыча серебра на рудниках Лавриона в Древней Греции была важнейшей отраслью горнорудного производства. Ксенофан, впервые сообщивший о них в 365 году до нашей эры, говорил: «Рудники очень давно разрабатываются, всем известно, и никто даже не

пытается определить, с какого времени приступили к этому».

Здесь важно отметить, что хотя руды серебра (галенитовые) залегают на контактах известняков и сланцев, их образование связано с внедрением вулканических пород (трахитов), из которых здесь же на месте изготавливались ступы для измельчения руды перед плавкой.

Очагами (эпицентрами) материальных культур были и районы древнего вулканизма в Сибири, Казахстане, на Алтае, в Средней Азии. Первые попытки выплавки меди из окисленных руд (медной «зелени» или «сини») на Урале относятся к началу II или концу III тысячелетия до нашей эры. Позднее эти руды служили и источниками серебра как аналогичные руды римских рудников в Испании. О том, что в Испании добывалось много серебра, что там находятся очень богатые рудники, мы узнали от Плиния, который писал, что ежедневный доход Ганнибала от рудников составлял 300 фунтов серебра. Такой же огромный доход давали в XVIII веке и рудники каменного пояса Урала Н. А. Демидову.

Древние вулканические руды Казахстана (медь, золото, серебро, свинец и многие другие) сделали Казахстан одним из крупнейших очагов древней металлургии, а следовательно, и источником развития древних культур.

Много интересных фактов, свидетельствующих о причинной обусловленности развития древнейших культур и цивилизаций геологическим фактором вообще и деятельностью вулканов в частности, можно найти при анализе истории Древнего Китая, Японии, стран Центральной и Южной Америки. Несметные богатства золота и серебра ацтеков и инков несомненно имеют вулканическое происхождение, т. е. связаны с рудообразующей деятельностью вулканов, которым ацтеки и инки поклонялись как божествам. Боливийские месторождения и поныне являются самыми богатыми рудами олова и серебра.

Однако задачей настоящей книги не является описание хотя и очень интересных внешних проявлений деятельности вулканов или обзор истории развития человеческого общества. Читателям, интересующимся феноменологией, безусловно известны интересные работы советских ученых Е. К. Мархинина, К. Н. Рудича, В. И. Лебединского, Г. Тагиева и многих других исследователей.

Эта книга о взаимосвязи и эволюции явлений геологического развития нашей планеты, об эволюции этих взаи-

мосвязей и обусловленности в конечном итоге образования всех геоболочек Земли «дыханием глубин планеты». Эта книга о геологическом пространстве и геологическом времени, о ритмичности и необратимости развития Земли, об изменении форм и материальных проявлений жизни нашей планеты, о новых аспектах древнейших материалистических учений о «началах мироздания» — огне, воздухе, земле и воде. Была ли первоначалом всего вода, как считал Фалес (624—547 гг. до н. э.), или огонь, как учил Гераклит (544—474 гг. до н. э.), или правы были Эмпедокл (483—423 гг. до н. э.) и Аристотель (384—322 гг. до н. э.), называвшие первопричинами все четыре стихии? Современная наука или, точнее, содружество наук о Земле, синтез которых осуществляется наукой о вулканах, вулканологией, позволяет частично ответить на эти вопросы. Хотя интуиция (или научные знания?) представителей древнейших цивилизаций иногда поразительны и до сих пор служат предметом острых дискуссий ученых самых разных специальностей.

И наконец, эта книга о том, почему степень вулканической опасности в настоящее время становится все меньше и меньше. Ученые постоянно совершенствуют методы прогноза извержений, и число исследователей, изучающих вулканический процесс в самых различных аспектах генетического естествознания, прогрессирующе возрастает.

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОЯСА



Геологическая история Земли, если исключить из рассмотрения проблему ее образования как космического тела и время пребывания в состоянии так называемой «первичной планеты», — это, по существу, история формирования и эволюции верхних ее геоболочек — базальтовой и гранитной, осадочного чехла, атмосферы и гидросферы. Эти геоболочки формируются в результате протекания эндогенных «изглубинных» процессов тепло- и массопереноса, генерируемых внутренними частями планеты (ядро, мантия), обладающей, по мнению геологов, свойствами инерционной системы, т. е. известной устойчивостью планетарных механизмов развития. Наиболее ярким отражением процесса тепло- и массопереноса на поверхности Земли являются процессы вулканизма.

Проявления вулканизма известны на Земле уже в самые ранние периоды ее геологической истории. Древнейшим вулканическим породам Земли 3,5 миллиарда лет.

В условиях маломощной неконсолидированной ранней, или «первичной», коры вулканические процессы проявлялись равномерно по всей планете.

Первичная, или гравитационная, кора, образованная на астрономической стадии развития планеты (догеологическая стадия «первичной планеты»), имела, как считается, состав базальта. Вулканическая кора является уже вторичной. Ее формирование происходило в зонах повышенной проницаемости Земли, через которые осуществлялся процесс тепло-массопереноса (дегазация мантии, по А. П. Виноградову). Само по себе образование таких зон повышенной проницаемости уже предполагает наличие некоторых вторичных консолидированных блоков земной коры, образование которых, в свою очередь, связано с первичной неоднородностью в проводимости подкоровых участков планеты — мантии.

По мере роста мощности вторичной коры над областями повышенной проницаемости мантии уже 3—2 миллиарда лет назад на планете возникли области ранней консолидации, которые геологи и вулканологи называют щитами. Эти «щиты» формируются уже в протогее (3,5—2,1 млрд. лет назад), за начало которого и принимается момент появления первых вулканических и связанных с ними осадочных пород.

В это время рельеф поверхности был еще очень плоским и слабодифференцированным. Он был обусловлен накоплением (аккумуляцией) вулканических продуктов деятельности низких «щитовых» вулканов, широко распространенных на поверхности планеты. Объем океанических вод в течение этого древнейшего мегаэона (крупнейшего отрезка времени в истории Земли) был еще невелик (около 15—30% современного), суши не существовало или она была очень незначительной — островной, приуроченной к вершинам самых крупных вулканических построек того времени. Это был своеобразный, позднее неповторявшийся, «океанический» этап в истории Земли (по В. М. Силицыну).

Вулканизм и связанное с ним осадконакопление протекали в плоских, относительно неглубоких бассейнах. Однако уже в то время, особенно во второй половине про-

тогда, вулканизм нередко проявлялся в пределах линейно-вытянутых относительно узких зон в виде вулканических поясов (по-гречески «зона» — пояс).

Геология щитов, отвечающих этому раннему периоду развития Земли, очень сложна для полной реставрации геологических событий на примере какого-либо одного участка Земли. Сложность усугубляется еще и тем обстоятельством, что позднее области древнейшего вулканизма (щиты) стали областями устойчивого поднятия и размыва и каменная геологическая летопись событий была если и не совсем утрачена, то еще более «зашифрована».

Тем не менее историческая геология может по отрывкам древней истории разных периодов, сохранившихся в разных регионах планеты, восстановить особенности древнейших вулканических поясов и объяснить многие загадки дальнейшего развития планеты. На территории Советского Союза древнейший вулканогенный (т. е. образованный проявлениями вулканизма) пояс выделяется в пределах Балтийского щита.

Это так называемый Северо-Скандинавский пояс (по В. В. Жданову), один из составляющих вулканическую корону Великой русской равнины (по В. И. Лебединскому).

2,1—1,35 миллиарда лет назад (в дейтерогее) происходит дальнейшая консолидация ранних областей повышенной проницаемости земной коры, в пределах которых протекали мощные процессы магмообразования и вулканизма. Разломы в коре, ставшие более глубокими и протяженными, расчленили кору на блоки с разным режимом геологических движений и историей геологического развития. Возникает дифференциация земной коры на ранние платформы (области с устойчивой тенденцией к поднятию) и ранние геосинклинали (области с тенденцией к прогибанию). Первые служили источниками осадочного терригенного материала, вторые — местами его накопления и вулканизма.

Первыми древнейшими платформами были щиты Балтийский, Канадский, Бразильский и другие, ставшие впоследствии ядрами более молодых платформ.

Вулканизм этого времени проявляется в пределах линейных структур, протяженных разломов. При этом формируются ранние вулканические кордильеры и цепочки центров вулканизма, представленных в настоящее вре-

мя эродированными периферическими очагами древних (1700 млн. лет) вулканов — массивами гранитов рапакиви. Правда, некоторые исследователи относят эти образования к типу полушлатформенных. Однако недавно, в сравнении с длительной историей изучения этих пород, ученые установили среди них характерные для поздних этапов развития геосинклиналей типичные субвулканические (т. е. близповерхностные) образования, несущие оруденение так называемого грейзенового типа (руды молибдена в слюдистых кварцево-мусковитовых породах и жилах).

По существу, эти вулканические кордильеры дейтерогей завершают развитие древнейшего вулканического цикла планеты, длившегося около 2 миллиардов лет. Его ранние этапы относятся, как мы говорили, еще к океаническому периоду истории планеты и наблюдаются сейчас в виде продуктов метаморфической переработки пород ранних подводных базальтовых щитовых вулканов. Поясов вулканов в это время, по-видимому, еще не было. Они были равномерно рассеяны по поверхности планеты. Лишь с течением огромного времени по мере консолидации отдельных участков земной коры образуются более узкие **зоны проницаемости**, в которых и реализовался процесс **тепло- и массопереноса** в виде древнейшего уже кислого по составу вулканизма (вулканические продукты богаты кремнекислотой — SiO_2). Хотя некоторые исследователи считают, что впервые кислые эффузивы и эксплозивные извержения проявились в фанерозое в областях теплового расширения над очагами гранитообразования.

Говоря о вулканических процессах геологической древности планеты, нельзя не обратить внимание на следующие их интересные особенности, учет которых поможет правильно понять общие закономерности направленной эволюции вулканического процесса в истории Земли. Мы имеем в виду прежде всего масштабы образования так называемых **ингимбритов**. Ингимбриты представляют собой, по современным представлениям, продукты вулканического взрыва близповерхностных очагов газонасыщенной жидкой магмы. Не обсуждая причины этого взрыва, некоторые составляют сложную проблему даже сегодня, хотя существует целый ряд гипотез, укажем на главную особенность этого процесса в протогее и дейтерогее.

Эти близповерхностные очаги, или, как их иногда называют, интрузии магмы, были по объему несравнимо больше тех, которые устанавливаются под современными вулканами геофизическими методами (4×5 километров в горизонтальном сечении). Это были, как пишут исследователи щитов, близповерхностные плутоны площадью в эрозионном срезе до тысяч квадратных километров. Взрывы таких близповерхностных плутонов обуславливали образование огромных объемов ингимбритов, которые при метаморфизме были преобразованы в так называемые метаграниты, являющиеся признаком древнейших кристаллических щитов планеты.

Видимо, учет этого обстоятельства позволяет считать цифры, характеризующие объем лавы, изверженной за геологическую историю планеты, и составляющие $3 \cdot 10^{13}$ кубических метров (по Ферхугену), заниженными. С лавой, по этим же данным, было вынесено $4 \cdot 10^{25}$ калорий. Чтобы представить себе такое количество тепла, скажем, что его хватило бы, например, на энергетическое снабжение всей нашей страны при современном производстве электрической энергии на десять миллионов лет. Столько тепла можно было бы получить, если сжечь количество нефти, равное по объему Охотскому морю. Однако процесс теплоотдачи и формирования коры планеты и в древнейшие этапы ее геологической истории осуществлялись в значительной мере за счет явлений вулканизма, а не только теплопроводности.

Другой особенностью ранней геологической истории планеты, которую следует особо подчеркнуть, является большая продолжительность раннего цикла, который геологи называют тектопо-магматическим, подчеркивая этим связь между характером (интенсивностью, глубиной) проникновения движений в коре и явлениями магмообразования и вулканизма. Этот период составляет около 2 миллиардов лет. Мы увидим далее, что при сохранении определенной последовательности вулканических явлений и их повторяемости в более молодых вулканических поясах тектопо-магматический цикл их развития по длительности прогрессирующе сокращается, что отражает самую общую закономерность геологической жизни планеты. Общая история эволюции вулканического пояса на примере районов современного вулканизма (например, Камчатка) представляется в следующем виде.

На первом этапе происходит формирование крупных

лавовых щитообразных вулканов и образование кольцевых вулcano-тектонических структур. Второй этап знаменуется образованием в пределах этих крупных кольцевых структур стратифицированных, т. е. слоистых, вулканических построек, так называемых стратовулканов. Для третьего этапа геологической жизни пояса и отдельных его геологических структур характерно образование кальдер (формирование кольцевых вулcano-тектонических депрессий — впадин), являющееся следствием «опустошения» близповерхностных магматических очагов под вулканами. На четвертом этапе по кольцевым трещинам в земной коре (по разломам) внедряются вязкие массы магматического расплава — экструзии. Завершается вулканический (тектонo-магматический) цикл излияниями покровных базальтов плато, связанными с разломами, уходящими глубоко под земную (во всяком случае, гранитную) кору.

Последовательность событий характерна как для древних вулканических поясов (тогда история вулканического пояса длится десятки и даже сотни миллионов лет), так и для современных вулканических поясов (время их заложения и существования составляет немногим более одного миллиона лет).

Подобная акселерация в проявлении тектоно-магматических циклов не проходит бесследно. Она отражается во всех гранях геологического процесса — форме продуктов его проявления, их составе, особенностях метаморфизма пород и рудообразования и многом другом. Об этом мы расскажем в последующих главах.

Третий мегахрон геологической истории планеты начался 1,35 миллиарда лет тому назад и продолжается поныне. В его составе обычно выделяют подэтапы — рифей ($1,35-0,68$) · 10^9 миллиардов лет, фанерозой ($0,68-0,025$) · 10^9 миллиардов лет и новейший — 25 миллионов лет по настоящее время.

Эти хронологические отрезки истории выделяются по принципу однородности времени, т. е. по скоростям развития однотипных геологических структур. Однако более детальное рассмотрение проблем этих скоростей показывает, что такая геохронология пока еще не совсем обоснована. Скорости протекания тектоно-магматических (в том числе и вулканических) циклов возрастают от рифея и доныне, но без скачка, как перед фанерозоем и перед новейшим этапом.

Однако считается, что убыстрение эволюции геологических процессов в неогее привело к такому углублению различий между его образованиями различного возраста, что именно они послужили основанием для разделения неогейского мегахрона на названные выше этапы. И по глубине различий в течение геологических процессов этапы неогее не уступают ранним мегахронам.

Действительно, границы между допалеозоем и палеозоем, с одной стороны, и между ранним и поздним мелом, с другой, отмечаются в истории Земли событиями планетарного значения и масштаба. Так, например, происходит резкое изменение состава атмосферы к палеозою. Принято думать, что и океаны достигли своего современного уровня в это же время, т. е. 600 миллионов лет назад. Известный американский геолог Р. Ревелл считает, что четвертая часть всей воды в океанах добавилась в них всего лишь 100—150 миллионов лет назад. Это вторая возрастная граница, на которую мы указали выше.

В то время дно Мирового океана было ареной бурной вулканической деятельности, следы которой океанографы обнаружили в потоках лавы и осадках мелового возраста, а также в основании всех скважин, пробуренных в дне океана (работы, выполненные в ходе рейсов исследовательского судна «Гломар Челенджер»). Имеются и другие доказательства того, что в тот момент геологической истории происходили чрезвычайно сложные события.

Геологические данные свидетельствуют о том, что тепловой режим Земли изменялся чрезвычайно медленно и постепенно. Поэтому эндогенные процессы дифференциации в мантии, вулканическая деятельность, а также формирование внешних оболочек — атмосферы и гидросферы — протекали последовательно.

Структурное развитие Земли проходило без катастроф (вроде «базальтового потопа» в меловом периоде или великих обновлений типа коренной перестройки структур земной коры перед началом неогее) ¹.

Скорости тектоно-магматических циклов, как мы го-

¹ Нужно оговориться при этом, что мы не имеем в виду масштабы океанического вулканизма, протекавшие в пределах срединно-океанических хребтов. Далее мы расскажем, что последние 25 миллионов лет истории планеты в океанах резко отличаются по интенсивности вулканического процесса от всей предыдущей истории Земли,

ворили, хотя и убыстряются во времени, но указанный отрезок времени, по имеющимся в настоящее время данным, не отличается от гомологичных ему периодов более древней истории Земли.

Возможно, что пополнение Мирового океана вообще происходило скачкообразно и неоднократно в ходе этой истории, соответствуя крупнейшим геологическим эпохам. Нужно отметить при этом, что 100—150 миллионов лет назад в истории подвижных поясов Земли почти везде было время проявления интенсивного подводного вулканизма. Это относится и к тем областям, которые в настоящее время являются сушей и даже горными хребтами. Таковы Крым, Кавказ, Береговой хребет западных штатов США и многие другие районы земного шара. Более того, аналоги этого времени по месту в истории развития вулканических поясов и в более древние геологические эпохи соответствовали проявлению такого же **подводного вулканизма**. Наиболее древним аналогом этого периода как раз и был океанический период протогея, когда объем Мирового океана составлял всего 10—30% современного.

В связи со сказанным представляется возможность проследить и особенности вулканизма неогей именно по крупным геологическим эпохам вулканизма — рифейской, каледонской, герцинской, ларамийской и альпийской. Примерами выражения этих эпох на планете являются соответственно вулканические пояса: Байкальский, Урало-Тяньшанский, Чукотско-Катазиатский, Тихоокеанский и Средиземноморский. В пределах каждого из них вулканический процесс протекал в течение десятков и даже сотен миллионов лет. Это так называемые долгоживущие геологические структуры — подвижные области, зоны непрерывной проницаемости земной коры. Каледонские подвижные области (каледониды) завершают свое развитие и консолидируются уже 400—420 миллионов лет назад (в силуре), герцинские (герциниды) — 270—185 миллионов лет назад (в перми), а в альпийских подвижных областях тектонические движения и вулканическая активность наблюдаются и в настоящее время. Тихоокеанский подвижный пояс с его вулканами так и называют — Тихоокеанское огненное кольцо.

Говоря о вулканических поясах и вообще линейных геотектонических структурах, а эта линейность и протяженность более четко увеличиваются и проявляются в

течение фанерозоя (680—25 миллионов лет) и в новейшее геологическое время (25 миллионов лет по настоящее время), следует иметь в виду, что постепенно в связи с утолщением земной коры и понижением очага генерации тектонических и вулканических процессов происходит **интеграция** отдельных центров движений, укрупнение структур в комплексы регионального масштаба. Это так называемые **мегаструктуры**.

При этом исследователи очень часто видят в этой интеграции лишь одну сторону развития Земли, говоря о том, что на базе протоплатформ (докембрийских щитов), последовательно обраставших геосинклинально-складчатыми образованиями, в том числе и вулканогенными поясами каледонид и герцинид, возникают обширные материки.

Нужно заметить, однако, что в последнее время в геологических исследованиях появились новейшие методы расшифровки геологических структур — аэрокосмические, основанные на анализе так называемых морфоструктур и свойстве рельефа отражать процессы, присущие жизни глубинных сфер планеты. Морфоструктура, или структура, выраженная формой рельефа, предстает как отражение геологической структуры, т. е. как ее проекция на поверхность верхнего ограничения литосферы (геоморфологическую поверхность Земли). Применение этих методов позволило установить важную особенность проявления вулканических процессов в истории планеты.

В современном плане земной поверхности кольцевые морфоструктуры не имеют четкого выражения в рельефе. Только в областях вулканизма они проявляются удивительно отчетливо. Достаточно посмотреть, например, на данные радарной аэросъемки, дешифрованные Н. А. Гусевым. На обоих снимках отчетливо видны кольцевые разломы, ограничивающие центры извержений, которые сами по себе предстают как структуры центрального типа, но более мелкие.

Однако применение специальных методов структурной геоморфологии позволило ученым установить наличие структурных объектов ¹ с центральной симметрией на любой исследованной площади, массовость и повсеместность

¹ Обусловленных действием эндогенных, глубинных причин.

их распространения. Предполагается, что образование структур подобного рода есть ведущая форма тектогенеза, а направленная импульсная разрядка глубинной энергии, проявляющаяся в процессах вулканизма,— основной вид планетарного тепло-массопереноса.

Импульсность этих процессов выражается в том, что последовательно, по мере скачкообразного уменьшения глубины источника генерации вулканической магмы и структуры формируется телескопическая система вложенных структур центрального типа. При этом большая глубина заложения структур проявляется в образовании колец большого диаметра. И продукты вулканизма (или вообще магматизма) в этих крупных кольцах соответствуют большим глубинам их формирования.

Все перечисленные особенности структур кольцевого типа являются отражением общего закона о том, что характерной формой симметрии направленного движения является симметрия конуса. Интересно, что впервые это экспериментально было показано еще в 1869 году ученым Добрэ. Он заинтересовался механизмом образования круглых кратерных воронок, пропускал через линейные трещины в гранитах, стали, стеклах раскаленный газ под высоким давлением (23000 атм). При этом вдоль трещин появлялись круглые в сечении воронки, которые Добрэ назвал диатремами. Материал, выброшенный из воронок (опрокинутых конусов), образовывал вокруг них коническое сооружение типа шлаковых конусов в областях современного вулканизма.

Более того, выясняется условность выделения самих линейных структур. Кольцевые структуры, образованные продуктами вулканических извержений, хорошо видны, когда их диаметр составляет 1—2 километра. Геологическое мелкомасштабное картирование позволяет устанавливать вулканические кольца диаметром до 100 километров. Но когда диаметр таких колец достигает тысяч километров, как у кольцевых мегаструктур (Тихоокеанской, Индийской и др.), тогда вулканические пояса воспринимаются нами как линейные структуры, в то время как они являются дугами кольцевых структур огромного радиуса.

Однако особенно в древнейших геологических образованиях планеты в доступной для наблюдения форме выступают только части крупных мегаструктур в виде дуг. Таков, возможно, и Северо-Скандинавский вулканоген-

ный пояс, представляющий северную границу огромной мегаструктуры, южное обрамление которой скрыто под образованиями Русской платформы. Более мелкие кольцевые структуры развиваются на фоне этих мегаструктур. Мы говорили, что размеры (поперечник) структур прямо связаны с глубиной источника их генерации. Чем мельче кольцо, тем менее глубок источник энергии и вещества, который обусловил его формирование. Сочетание разномасштабных вулканических колец представляет собою результат интерференции колец различной глубины и времени заложения.

Наиболее просто читатель может представить себе зеркальное отражение этого процесса, проявляющееся в интерференции волн, образующихся, если бросать в воду последовательно камни все меньшего размера и веса. Примером замкнутой мегаструктуры, периметр которой составляют вулканические пояса, является, по В. В. Соловьеву, Аляскинско-Алеутско-Чукотская (ее диаметр составляет ~ 2400 км). На юге она обрамляется алеутской вулканической дугой, на западе — вулканической цепью хребта Тыдан, на востоке — аляскинскими вулканами, развитыми вдоль дуговых разломов.

Такого же масштаба мегаструктура Большого бассейна. Ее диаметр равен примерно 1400 километрам (напомним, что эти мегаструктуры сами входят в состав еще более крупной структуры Тихоокеанского кольца). В ее пределах выделяются вулканические кольца Сьерра-Невада (диаметр 600 км), Сакраменто (диаметр 300 км), Колумбия (диаметр 500 км). В свою очередь, в пределах этих колец выделяются еще более мелкие. Таковы тектопо-магматические структуры плато Колорадо (Сан-Хуан), в которых расположены уже совсем мелкие кольцевые вулканические структуры, так называемые кальдеры (Сильвертон, Лейк-Сити и др.). Таким же образом и в вулканических поясах-дугах (Охотско-Чукотском, Камчатском, Северо-Балхашском и многих других) геологи устанавливают все более элементарные вулканические кольца.

Рассказав о кольцевом аспекте строения земной поверхности, нельзя не остановиться на сравнении в этом смысле нашей планеты с Луной, Марсом и Венерой, на которых космические наблюдения показывают наличие таких же кольцевых, или, как их называют, вулканических ландшафтов. Сравнивая одномасштабные изображе-

ния планет Солнечной системы, можно видеть однотипность их строения. Однако анализ разномасштабных кольцевых структур Земли должен призвать нас к большей осторожности в применении к кольцевым структурам других планет такого определения, как кратер.

Человек давно изучает Луну. В античное время Аристарх, за 2000 лет до Коперника предложивший гелиоцентрическую гипотезу, вычислил расстояние до Луны (с точностью до 5%). Демокрит полагал, что различия на лунной поверхности зависят от теней, так как «Луна имеет долины и возвышенности». Пифагорейцы написали десятки, если не сотни, сочинений, доказывая, что видимая нами поверхность Луны определена ее рельефом. Лишь Аристотель, проведя в рисунке аналогию наблюдаемых на Луне линий с земными, считал, что поверхность Луны подобна «отполированному шару», только отражающему контуры земных морей и материков.

С изобретением телескопа началось подлинное развитие селенографии. Этот период связан с именами четырех великих исследователей XVI—XVII столетий: Браге, Галилея, Кеплера, Ньютона. Галилей, первым взглянувший на Луну в телескоп, писал: «Я вне себя от изумления, так как уже успел убедиться, что Луна представляет собою тело, подобное Земле». В 1647 году Иоганн Гевелиус составил и издал первые подробные карты Луны. Именно к тем временам восходят названия наиболее значительных объектов лунной поверхности: Океан Бурь, Море Ясности, Кавказ, Карпаты, Аппенины и др.

Третий, космический, этап начался совсем недавно: в январе 1959 года автоматическая станция «Луна-1» прошла в 5000 километрах от Луны, передав информацию о магнитном поле нашего спутника. В сентябре 1959 года «Луна-2» совершила посадку в районе кратера Автолик. В настоящее время мы являемся свидетелями геологического этапа исследований Луны. Автоматические станции передали на Землю еще до высадки на Луне человека десятки тысяч фотоснимков лунной поверхности, сотни анализов о химических, физических и механических ее свойствах.

Проводимые в настоящее время геологические исследования Луны со все большей очевидностью указывают на то, что не только кора Земли, но и поверхность Луны сформирована вулканическими процессами, имеющими эндогенную по отношению к планете природу (хотя

существует и продолжает развиваться и «метеоритная» гипотеза происхождения лунных кратеров).

На Луне, как и на Земле, имеются системы кольцевых тектоно — магматических структур самого различного порядка — от первых километров до сотен и тысяч километров в диаметре. Проблема определения их природы и таксономизации такая же, как и на Земле. Только наиболее мелкие из них, сравнимые по размерам с земными вулканами, могут быть определены как вулканические. Более крупные кольца в сотни и тысячи километров в диаметре образованы уже магматическими породами глубинного генезиса (невулканическими). Такие крупные кольцевые структуры, как Море Восточное, не могут интерпретироваться как собственно вулканические.

При анализе инопланетных кольцевых структур необходимо также иметь в виду возможную неодновременность и различную глубину их заложения в геологической истории этих планет, а следовательно, и различия в вещественном составе их образующих пород. Видимо, употребление понятия «кратер» по отношению к структурам, имеющим в диаметре сотни и тысячи километров, на Луне, Марсе, Венере столь же не оправдано, как и в приложении к Тихоокеанской или Индийской кольцевым структурам Земли.

Заканчивая этот краткий обзор форм проявления вулканического процесса и их эволюции в истории нашей планеты, нельзя не остановиться на достижении океанической геологии. В этой науке в настоящее время достигнуты большие успехи в изучении причин и форм энергетической жизни планеты, непосредственных современных эффектов реализации процессов тепло- и массопереноса, которые стремятся привести планету в термодинамическое равновесие с окружающей космической средой. Земля, как уже говорилось, располагает мощными источниками эндогенного тепла, которое она излучает путем теплопроводности в ходе вулканического и гидротермального поствулканического процесса.

Источником тепла, как считают многие исследователи, является тепло радиоактивного распада¹. Радиогенное тепло генерируется по всему объему планеты, по в

¹ Хотя в принципе можно принять и любую другую природу этого тепла, например, за счет гравитационного сжатия (на стадии первичной планеты),

излучении его участвуют только наружные оболочки. Эндогенный тепловой поток формируется лишь во внешних слоях планеты (в пределах глубины 500 км), а слои, находящиеся ниже 1000 километров, в потерях тепла не участвуют и только генерируют его.

Внутренняя область Земли, откуда нет оттока радиогенного тепла, испытывает постоянное, очень медленное разогревание и, следовательно, расширение, тогда как в перисфере (внешних оболочках) такого теплового расширения нет.

Поскольку внутренняя область планеты по объему и массе значительно превосходит перисферу, в последней происходит расширение и растрескивание. Тепло преобразуется в механическую работу тектогенеза — движений в коре планеты. Расширение Земли, таким образом, является основной причиной геологического развития планеты.

Мы уже говорили, что наиболее активно на материках тектогенез и отток эндогенного тепла происходят в зонах проницаемости, подвижных орогенических областях, в которых локализуются вулканические процессы. О формах зон проницаемости мы говорили выше. Однако расширение Земли является, как считают геологи (В. М. Спичин и др.), ведущим мотивом геологического развития Земли и на современном этапе.

Оно протекает в гигантских срединно-океанических вулканических хребтах, опоясывающих всю нашу планету. Интересно отметить, что гипотеза расширяющейся Земли совсем недавно имела много противников, хотя в настоящее время она не только признается большинством исследователей, но и используется на практике. Срединно-океанические хребты — это протяженные валообразные поднятия дна океанов с поперечником в несколько сотен километров (в среднем 250—300 км) и высотой 3—3,5 километра, составляющие единую общепланетарную систему длиной около 60 000 километров, опоясывающую земной шар.

Общая площадь срединно-океанических поднятий составляет примерно 30% площади океанов, что соответствует всей площади материков. Многочисленные разломы расчленяют их своды на большое число гребней и так называемых рифтовых долин глубиной 1,5—2 километра. Лишь наиболее высокие группы вершин достигают уровня вод океана. Своеобразие рельефа срединных океаниче-

ских хребтов состоит в том, что он сформировался под воздействием новейших неоген-четвертичных тектонических и вулканических процессов. Срединные хребты отличаются повышенным тепловым потоком, особенно в осевых рифтовых зонах. Интенсивность вулканизма в срединных океанических хребтах, представляющих собой океанические вулканические пояса, такова, что лишь в кайнозой (т. е. за последние 25 млн. лет) объем излившихся из них лав (базальтов) составляет 2×10^7 кубических километров.

Ниже этих базальтов залегает уже мантия. Если вспомнить, что за всю геологическую историю Земли, т. е. за $3,5 \times 10^9$ лет, было извергнуто 3×10^9 кубических километров, то доля срединно-океанических вулканических хребтов в вулканизме Земли только за «секунду» новейшего геологического времени составит более $\frac{2}{3}$ общего объема лав. Вот каковы океанические вулканические пояса и вулканичность новейшей геологической истории Земли. Нужно заметить, что подводные океанические поднятия и вулканические пояса не изолированы от наземных поясов, они продолжают под материками.

Важнейшая задача геологии — проследить это продолжение, найти результаты этого явления. Например, осевой гребень и восточный склон Восточно-Тихоокеанского поднятия уходят под Мексику и далее под плато Колорадо и все западные штаты от Калифорнии до Юты. Эти области являются аренами широкого и мощного проявления наземных вулканических процессов. Одновременно это и богатейшие рудные провинции Мексики и западных штатов США, в которых развиты вулканические месторождения золота, серебра, ртути, свинца, цинка, меди, молибдена и многих других металлов.

Об этих и других рудах мы расскажем в следующей главе.

ВТОРАЯ
СОСТАВЛЯЮЩАЯ

Некоторые исследователи, правильно определяя вулканический процесс как физико-химический, понимают его, однако, как процесс «...перемещения к поверхности и одновременной дегазации вещества внутренних частей Земли». Это, конечно, не совсем точно. Дегазация мантии сама по себе является формой тепло- и массопереноса. Перемещаясь к поверхности планеты по зонам повышенной проницаемости, такой, как его называют, интрателлурический поток энергии и вещества вызывает магмообразование, сам претерпевая при этом эволюцию формы и состава. В результате физико-химических реакций, протекающих на определенных уровнях в геоблочках планеты, одновременно рождаются и газонасыщенная расплавленная силикатная жидкость

(магма), первая составляющая вулканического процесса, и эндогенный флюид, его вторая составляющая.

Газонасыщенная магма, попадая в приповерхностные условия, характеризующиеся меньшими давлениями, чем это необходимо для сохранения магмой летучих компонентов, действительно теряет их. Однако это не вся вторая составляющая, а лишь незначительная ее часть, определяемая пределом растворимости воды в магме. Поэтому сразу же следует подчеркнуть еще раз, что в настоящем разделе речь пойдет не о летучей составляющей магматического расплава, достигающей по объему даже в наиболее газонасыщенных магмах 1—2% ее объема. Мы хотим рассказать о второй составляющей вулканического процесса, сравнимой по энергетической (тепловой) мощности с собственно вулканическими явлениями извержения лавы и «огнепороздробленных» продуктов. Принципиальная разница между отделением летучих веществ от магмы и одновременном совместном (парагенетическом) образовании магмы и флюида огромна и проявляется во всех гранях эндогенной жизни планеты.

Количество газовой фазы, однако, даже во время извержения достигает огромных величин. Подсчитано, что мексиканский вулкан Парикутин, «внезапно возникший» на кукурузном поле в 1943 году, за 8 лет, т. е. к концу 1951 года, выделил общее количество газов (в пересчете на воду), равное 39 миллионам тонн, в то время как вес лавы (и пепла) составил 3556 миллионов тонн. И только 39 миллионов тонн летучих и есть тот 1%, который был растворен в магме и стал неустойчив в ней при ее излиянии на поверхность.

Мы уже говорили в первой главе об огромных количествах воды и пара, выбрасывавшихся Этной. В составе таких вулканических газов обычно устанавливаются водяной пар, углекислые газы, летучие соединения серы и хлористый водород. Исследования газов, выделяющихся из лавового озера в кратере вулкана Нирагонго (Конго), показали присутствие углекислого газа (до 87%), в меньших количествах серпистого газа (до 8%), окиси углерода (до 5%), водорода (до 2%). Проведено много исследований собственно вулканических газов в самых разных точках планеты, в том числе и советскими учеными на действующих вулканах Камчатки и Курильских островов. Эти исследования показали присутствие, помимо перечисленных газов, еще и CH_4 , NH_3 , HF , SO_2 , SO_3 , B , Br , I .

В вулканических газах некоторых вулканов, например Сёва-Сендзан в Японии, присутствуют такие металлы, как Zn, As, Sn, Ag. Металлы обнаружены и в газах вулкана Ключевского на Камчатке.

Однако следует заметить, что отличие собственно вулканических газов от газов поствулканической гидротермальной стадии, отражающей самую приповерхностную форму интрателлурического потока в его эволюции по мере продвижения к поверхности, пока еще встречает значительные затруднения.

Выявление газов, отделяющихся из магмы, проводится путем изучения «законсервированных» в застывшей лаве газовых включений. Их основу составляют вода (от 80 до 99% в зависимости от состава лав), CO_2 и Co (их больше в базальтах, чем в «кислых» лавах). Содержания H_2 и N_2 , Cl_2 и F_2 изменчивы. Можно указать, однако, что в глубинных породах мантии (перидотитах), хотя и не излившихся, встречались пустоты (вакуоли), заполненные водородом. При их вскрытии водород вспыхивал голубым пламенем от искр, возникавших при дроблении породы. Над поверхностью озера Халемаумау (Килауэа) наблюдалось горение водорода и других горючих газов с образованием пламени высотой до 4 метров. Однако при исследовании газовых, газовой-жидких и даже расплавных включений в лавах и породах так называемых экструзий, выжатых на поверхность куполов вязкой магмы, ученый не всегда может быть уверен, что он имеет дело именно с «магматическими» газами. Дело в том, что флюиды, образующиеся вместе с магмой, пропикают сквозь нее к поверхности в виде потока так называемых «сквозьмагматических» растворов. Они также могут консервироваться в застывшей магме и давать огромное многообразие газовых, газовой-жидких, расплавных и даже трех- и четырехфазных включений, нередко содержащих и рудные минералы. Некоторые из форм таких включений и наличие в них нескольких фазовых состояний вещества «сквозьмагматического» потока показаны на рисунке.

Установлено, что в фазу извержения вместе с газами и в газовой (хлоридной) форме из базальта, например, улетучиваются медь, литий, бериллий, свинец, олово, серебро, цинк, кобальт, никель, молибден, висмут, галлий, теллур, хром, ванадий, барий, стронций. Концентрация меди в некоторых возгонах (осадках из газов) увеличилась в 1000 раз против ее содержания в базальтах.

**Содержание элементов в газах и конденсатах
фумарол некоторых вулканов Камчатки**

Эле- менты	Вулкан Авача $t=96^{\circ}\text{C}$, %%	Вулкан Мутнов- ский $t=100^{\circ}\text{C}$, %%	Вулкан Шивелуч $t=360-500^{\circ}\text{C}$, мг на 1000 л газа	Вулкан Ключевской $t=500-900^{\circ}\text{C}$, мг на 1000 л газа
As	—	—	0,18—0,5	—
Cl	120 мг/л	3,4—6,4	700	1614
F	—	—	180	380
Br	—	—	1,0	2,1
SO ₂	—	—	1380	45,0
Cu	0,00 н	0,01	0,04—0,15	0,2—1,25
Zn	н	1	0,1—0,8	0,06—0,05
Sn	0,0 н	0,00 н	0,02—0,05	0,02—0,2
Ni	0,00 н	0,0 н	0,01—0,15	0,02—0,5
Co	—	—	0,003—0,03	0,01—0,16
Pb	0,00 н	0,00 н	0,03—0,45	0,02—0,2
V	—	0,0 н	0,19—0,46	0,07—0,30
Zr	—	0,00 н	0,03—0,75	0,1—0,5
Sc	—	—	0,004—0,06	0,04—0,1
Bi	—	—	0,02—0,2	0,02—0,16
Ag	0,000 н	0,000 н	6·10 ⁻⁵ —5·10 ⁻³	8·10 ⁻⁵ —8·10 ⁻³
Cr	0,00 н	0,0 н	0,15—0,5	0,25—0,8
Ba	0,0 н	0,0 н	0,2—2,0	0,2—1,12
Mo	0,000 н	0,000 н	5·10 ⁻⁶ —6·10 ⁻³	9·10 ⁻⁴ —6·10 ⁻³

В соединениях с фтором из лав Ключевского вулкана на Камчатке улетучиваются железо и кремний (SiF₄ и SiCl₄). В возгонах вулкана Шивелуч, тоже на Камчатке, установлены, кроме того, ванадий (в некоторых сульфатах определено до 12% V₂O₅), сернистые соединения свинца.

Состав вулканических газов зависит от многих факторов — состава магмы, температуры выделения газовой смеси, времени с начала выделения и т. д. С повышением температуры концентрация металлов и даже слаболетучих компонентов в вулканических газах увеличивается. Различные извержения одного и того же вулкана сопровождаются выделением различных газов (см. табл.).

В сухих остатках конденсатов вулкана Нирагонго установлены Zn, Be, Ti, Sc, Pb, Cu, Ag, Co, Ni, V, Sr, Zr, Mo, Sn. В составе газов вулкана Сёва-Сендзан на острове Хоккайдо в Японии — Zn, Cu, Ge, As, Sn, Ag, Pb, Bi, Cr,

Ni, Mo, Rn, Re. В возгонах вулкана Шевелуч на Камчатке обнаружены повышенные концентрации Zr, Be, Rb, Sn, Ag, Zn, Co, Ni, Zr, Mo, Bi, Te, Cr, Ga, W, Ba, Sr, As и Cd. На вулкане Ширан в Японии в сульфатах алюминия вокруг фумарол установлена высокая (до 1,64%) концентрация Ni. Возгоны с Белого острова, апдезитового вулкана в Новой Зеландии, содержат в повышенных концентрациях Pb — до 1%, V — 0,03%, B — 5%, Cu — 0,4%, As — 0,3%; Zn — 0,3%, Sn — 0,5%. На Везувии после извержения 1906 года в вулканических стеклах был обнаружен сульфид железа и меди — минерал халькопирит, в фумаролах — сульфид свинца (галенит). В Долине Десяти Тысяч Дымов на Аляске в фумарольном магнетите (Fe_3O_4) установлены высокие концентрации Cu, Zn, Mn, Mo, Rb, As, Sb, Sn, Ag, Ni, Co, Ti, Bi, Se, Te. В подводном вулкане Новых Гебрид обнаружен вынос фумаролами меди, содержание которой достигает в осадках 12,3%.

Примеры перепоса газами вулканов металлов можно было бы умножить.

Нужно прибавить к этому, что значительные количества металлов в виде солей Cl, F, Br и др. сорбируются на поверхности вулканических пенловых частичек. Водные вытяжки из таких пенлов вынесли, например, в бассейне реки Камчатки после извержения в 1956 году вулкана Безымянного около 20 миллионов тонн легко-растворимых веществ.

Эти очень краткие сведения о химическом составе летучих, отделяющихся во время извержений от магмы, показывают, что, поступая в последующий кругооборот химических элементов в природе, они могут оказать и оказывают (особенно на подводных вулканах) влияние на химический состав вод Мирового океана и его осадков, хотя роль этого процесса многими исследователями, по-видимому, переоценивается.

Гораздо более важной, имеющей значение планетарного масштаба, является другая форма вулканического процесса, которая рождается одновременно с образованием огненножидких расплавов, равная им по теплосодержанию и даже сравнимая по массе вещества. Это — вторая составляющая эндогенного процесса тепло- и массопереноса (гидротермальная) в самых верхних оболочках планеты, обусловившая формирование не только гидро- и атмосфер, но и всех минеральных богатств Земли.

Мы не будем далее рассматривать один из очень важных аспектов хемогенного осадко- и рудообразования, связанного с химическим разрушением горных пород агрессивными вулканическими водами и перетолжением породообразующих окислов. Равным образом мы не будем касаться и возможной роли в изменении химического состава атмосферы и Мирового океана в связи с «кратковременными» вулканическими явлениями, как бы велико ни было число подводных вулканов (а их насчитывают сейчас до 10 000, хотя, конечно, далеко не все они являются действующими) и как бы эффективны ни были сопровождающие их явления окрашивания морской воды в зоне извержения за счет растворения газов, шлейфы тонкодисперсных гидроокислов и т. д. Можно с уверенностью утверждать, что дрепирование суши Земли, мировой сток, дает, по существу, эффект, несомненно, несоизмеримо больший, хотя и не столь зрительно явный, ибо этот процесс, постоянный и мощный, продолжается уже более миллиарда лет.

Мы рассмотрим ниже (очень кратко, конечно) процесс, столь же длительный и непрерывный, как и само формирование геоболочек планеты, происходящий одновременно с рождением вещества этих геоболочек, — процесс эволюции глубинного флюида. Он протекает, как и вулканизм (или шире, магматизм), в тех же зонах (и центрах) повышенной проницаемости земной коры и является формой тепло- и массопереноса, сравнимой или даже равной по масштабам магматическим явлениям. Последние выступают на фоне этого непрерывного потока флюида как «внутрипотоковые» процессы и стимулированные в нижних геоболочках этим же флюидом¹.

Одной из пространственно-временных форм этого флюида, приповерхностной и современной, являются гидротермальные растворы (миперализованные горячие воды) областей современного вулканизма. Не рассматривая многочисленных классификаций этих растворов и соответственно их источников, во многом до настоящего времени неудовлетворительных, остановимся на трех важных особенностях гидротермального процесса — его **металлоносности, мощности и длительности**.

¹ Геологи-рудники нередко употребляют по отношению к некоторым магматическим телам определение «внутрирудные», т. е. образовавшиеся и внедрившиеся в породы на фоне длительного процесса рудообразования.

Как и вулканические газы и эксгаляции, гидротермальные источники выносят из глубин Земли на поверхность и далее в Мировой океан многие металлы. В водах горячего озера (имеющего подземный сток) вулкана М. Семячик, который читатель мог видеть на рисунке, установлено (в мг/л): Cu — 0,4, Zn — 2,2, Pb — 1, Ni — 3, Co — 0,8; Sb — 6, Mn — 16, Fe — 1086. В хорошо изученных источниках кальдеры Узон и Долины Гейзеров на Камчатке обнаружены повышенные концентрации (в мг/л): As — до 40; Zn — до 0,4; Cu — до 0,1; Sb — до 0,6; Ag — до 0,015; Mo — до 0,014; Hg — до 0,012; Pb — до 0,05. Нередко в водах устлавливаются повышенные концентрации В, Li, Pb, Cs. В водах Паужетских гидротерм, на базе которых построена первая в СССР геотермальная электростанция, присутствуют в больших концентрациях As, Mo, Cu, W, в лечебных Паратунских водах на Камчатке — Ag, As, Mo, Cu, Zn, Pb, W. Из вод многих гидротермальных источников отлагаются рудные минералы мышьяка, ртути, сурьмы, самородные медь, золото и многие другие.

В источниках Беппу в Японии при содержании золота в водах всего 0,00004 мкг/кг его концентрация в кремнистых осадках из того же источника составляет 55 граммов на тонну. То же самое наблюдается в источниках Новой Зеландии: в водах источников золота около 0,00004 мкг/кг, в осадках (гейзеритах) — 85 граммов на тонну. В осадках известных горячих минеральных источников США Стимбуот содержание золота 9, а в источниках Анакопда — 24 грамма на тонну (в осадках гидроокислов железа — лимонитах). Столь же высокими являются очень часто и содержания в осадках серебра, меди и других металлов.

Следы несколько более древней, чем современная, гидротермальной деятельности определяются в вулканических областях по химическим изменениям вулканических пород, через которые просачивались эти растворы. Горные породы здесь становятся, как говорят геологи, гидротермально измененными, имеющими за счет выпаса одних и привпаса других порообразующих окислов самую причудливую окраску. В местах более агрессивного воздействия горячих минерализованных вод они освещаются (за счет выноса железа). В породах осаждаются сульфид железа — пирит (FeS_2). Окисляясь в лимонит, последний обуславливает яркие оранжево-бурые цвета

пород. Освобождающаяся при окислении пирита сера входит в состав вновь образующейся серной кислоты, которая еще более осветляет (выщелачивает) породы и т. д.

Самих минерализованных горячих вод геолог в таких областях уже не наблюдает. Однако следы их рудообразующей деятельности проявляются очень отчетливо. В этих породах уже обнаруживают рудные минералы, которые смогли сформироваться в господствовавших условиях давлений и температур. Среди этих рудных минералов установлены: киноварь (HgS), антимонит (Sb_2S_3), реальгар (As_4S_4), аурипигмент (As_2S_3), галенит (PbS), сфалерит (ZnS), халькопирит (CuFeS_2), молибденит (MoS_2), самородные золото, серебро, медь.

Правда, рудные минералы в областях современного вулканизма за редкими исключениями не обнаруживают крупных скоплений, которые могли бы иметь промышленное значение. Исключения составляют месторождения ртути Монте-Амиата в Италии, которому тридцать тысяч лет, и месторождение Салфэр-Бэнк в США. Последнее начали разрабатывать как месторождение самородной серы. Однако на глубине были найдены ртутные руды (киноварь), которые и добывались некоторое время, хотя горные выработки и заливались горячей минерализованной водой.

Говоря о современной и приповерхностной деятельности гидротерм в областях вулканизма, нельзя не сказать о месторождениях самородной серы. По мнению некоторых специалистов, запасы вулканической серы превосходят запасы так называемых «осадочных» серных месторождений платформ и многие составляют сотни миллионов тонн.

Отсутствие крупных скоплений рудных минералов в областях современного вулканизма вовсе не означает, что количество выносимых металлов является недостаточным для образования месторождений, т. е. промышленных объектов. Попробуем подсчитать, какие запасы, например, золота или свинца могли бы образоваться за время деятельности гидротермальных источников, исходя из их дебита (расхода воды) и наблюдаемых сегодня концентраций в них названных металлов, считая режим деятельности этих источников относительно постоянным. Цифры выглядят следующим образом (за 1 млн. лет):

Pb — $3,15 \cdot 10^6$ тонн, Sb — $18,9 \cdot 10^6$, As — $1,73 \cdot 10^6$,
Zn — $6,93 \cdot 10^6$, Cu — $1,26 \cdot 10^6$, Ni — $9,45 \cdot 10^6$, Ag —
1 миллион тонн.

Полученные данные показывают, что месторождения, и даже очень крупные, могли бы формироваться и в современном гидротермальном процессе, если бы были условия для концентрации металлов в виде минералов, устойчивых в приповерхностных условиях. Однако таких условий, к сожалению, нет и почти все из перечисленных выше элементов уносятся водами в виде растворимых соединений в Мировой океан, пополняя эту неисчерпаемую кладовую, которая, несомненно, будет освоена человечеством в будущем.

Правда, некоторые металлы, такие, например, как медь, свинец, выпадают из речного стока в зоне впадения рек, дренирующих вулканические хребты, в океан. В этих условиях в осадках дельт рек образуются причудливые, как и сама совокупность дельт, так называемые инфильтрационно-осадочные месторождения «медистых песчаников», т. е. речных дельтовых песчаников, «пропитанных» минералами меди, в частности халькозином (Cu_2S).

Однако большинство металлов образует в растворах устойчивые соединения и нужны особые условия, чтобы «высадить» эти металлы из их естественных растворов. Но это сегодня, в современную эпоху вулканизма, длительность которой вулканологи определяют в 1 миллион лет. А раньше? Отвечая на этот вопрос, напомним, что мы не случайно определили современные гидротермальные источники и их воды как конкретную пространственно-временную форму непрерывно поступающего из недр планеты эндогенного флюида. Эта форма отвечает современным и близповерхностным условиям. Эти условия характеризуются прежде всего низким давлением, при котором жидкая фаза (раствор какого-либо соединения металла), из которой в общем случае происходит отложение рудных минералов при высоких температурах ($200-250^\circ\text{C}$), пужных, например, для образования сульфидных руд, неустойчива. При низком давлении и такой температуре раствор вскипает и выкипает, образуется газ и рудообразования не происходит.

Конденсация же флюида в зонах проницаемости в современных вулканических областях и составляющих их «телескопических» центрах происходит (при падении

температуры до 100°C) лишь у поверхности, да и то в поздние стадии жизни гидротермальной системы, при ее «остывании». В этих условиях могут образовываться и образуются, как правило, только самые низкотемпературные минералы — самородная сера, киноварь (HgS), антимопит (Sb_2S_3), реальгар (As_4S_4), аурипигмент (As_2S_3), сульфиды железа, а из нерудных минералов — сульфаты (алунит), опал, различные глинистые минералы.

Все эти продукты наблюдаются на современных «сольфатарных» полях вулканов. Хотя, как уже было сказано, промышленные скопления здесь образует, как правило, только самородная сера (так называемые метасоматические серные залежи).

Нужно заметить, что в подобные термодинамические условия эндогенный флюид попадает только на завершающих этапах тектоно-магматического развития вулканических поясов и составляющих их центров, при консолидации орогена. Более ранние этапы тектоно-магматического цикла характеризуются последовательно все большей напряженностью блоков земной коры, в которых протекает эндогенный тепло- и массоперенос, более равномерным распределением напряжений по объему этого блока, меньшей проницаемостью или в целом, как выражаются геологи, большей «закрытостью» системы, в которой «действует» флюид.

Следствия изменения термодинамических условий при переходе «вглубь» геологического времени и вниз по геологическому разрезу от завершающих этапов тектоно-магматического цикла развития вулканических геоструктур к средним и ранним многочисленны и важны.

Для нас, конечно, более важным является возникновение возможностей для образования массовых, промышленных скоплений рудных минералов, формирующих уже месторождения руд. Большие давления в зонах «действия» эндогенного флюида обуславливают существование гидротермального раствора при более высоких температурах. Из этих растворов выпадают в осадок уже в больших количествах более высокотемпературные рудные минералы — золото, серебро, их сульфосоли, глубже и раньше — сульфиды свинца, цинка и меди, содержащие нередко промышленные примеси золота и серебра (это так называемые полиметаллические руды), а еще раньше и

глубже главной рудой становится медная, нередко с примесью молибдена и других элементов¹.

В таких вулканических поясах, как Центрально-Камчатский, Курильский, Японский, Урало-Тяньшанский и многих других примеры рудных месторождений названных типов и зональности в их пространственно-временном размещении исчисляются многими десятками и даже сотнями. Мы расскажем о них в следующей главе.

Здесь же важно подчеркнуть общую тенденцию в развитии эндогенного процесса в прерывисто-непрерывной истории тектопо-магматического цикла. Эту тенденцию можно определить как прерываемое периодами тектопического покоя стремление этого процесса к поверхности планеты. Реализуется это стремление в геологической истории Земли, если не иметь в виду отделения (при изливании на поверхность Земли лав) собственно вулканических (сипвулканических) газов, сопровождающего вообще каждое извержение, но в каждую геологическую эпоху на сравнимых с современным, гомологичных ему завершающих этапах тектопо-магматического цикла.

На более ранних этапах, как это ни покажется странным не только читателю, не специалисту, но и геолог-руднику, особенно вулканологу, которому в большой мере свойственно актуалистическое геологическое мышление и перенесение наблюдаемых им величественных явлений в современных гидротермальных системах (гейзеры-великаны, горячие реки и озера и многое другое) на геологическое прошлое без поправок на время и место «действия» флюида, эти явления не были свойственны поверхности нашей планеты. Геолог, например, на Камчатке 20—30 миллионов лет назад не обнаружил бы скорее всего наповерхностных форм проявления эндогенного флюида — горячих гидротермальных систем, живописных гейзеров и современной ему рудной минерализации. Процесс «разгрузки» гидротермальных систем происходил в это время на большой глубине (и чем древнее, тем глубже), что и обуславливало «сохранность» металлов и формирование рудных месторождений. Налицо,

¹ Мы не ставим здесь целью дать обзор многочисленных случаев вертикальной и возрастной (временной) зональности в проявлениях оруденения других (по составу металлов) типов. Принципиальные причины такой зональности остаются неизменными.

таким образом, своеобразный парадокс. Если геолог видит металлоносные гидротермальные растворы и современное минералообразование (хотя бы и образование рудных минералов), он наблюдает процесс рассеяния рудного богатства недр, их вынос в гидросферу планеты.

Однако пространственно-временные особенности эволюции интрателлурического потока эндогенного флюида при прослеживании их в древнейших вулканических поясах нашей планеты оказываются еще более интересными. Обратимся к истокам геологической или, точнее вулканической истории Земли. Было время, как справедливо отмечают исследователи, когда никаких океанов на нашей планете не существовало, не существовало даже вместилища, куда могла бы «влиться» вода. Справедливы и вопросы, которые они себе задают: как образовались впадины океанов, как эти впадины заполнились водой откуда взялась эта вода, когда и почему это произошло?

На вопрос о «вместилищах» и эволюции их формы глубины и геометрии ученые отвечают, исходя из представлений о закономерностях роста коры планеты, появления неоднородностей в зонах проницаемости и последующей консолидации коры и дифференциации тектонических движений. Однако образование алюмосиликатной коры («сиала»), вызываемое «дегазацией» мантии, сопровождалось одновременно и рождением парагенетически связанного с веществом коры эндогенного флюида. Углубление в «докоровую» (имеется в виду «вторичная вулканическая, не гравитационная, кора») астрономическую историю планеты привело бы нас, возможно, к представлениям об изначально гидридной Земле, заложенным выдающимся русским геохимиком В. И. Верпаuskим. При этом понятие «составляющих» утратило бы уже смысл, ибо «началом всего» (на космической, «агломератовой» стадии развития планеты) оказались бы комические «льды» — гидриды кислорода (OH_2), углерода (CH_4), азота (NH_3), кремния (SiH_4) и др. Подобное «углубление» не является задачей настоящей книги, хотя, вообще говоря, и содержит ответ на «сакраментальный» вопрос о «начале». Правы были все три древнегреческие философские школы — Фалес, Гераклит и Эмпедокл с Аристотелем. Просто они имели в виду разные точки отсчета «начала»: Фалес — космическую (лед, вода), Гераклит — астрономическую (огонь), а Эмпедокл и Аристотель — геологическую, когда были и «вну

ренный огонь», и вода в виде гидросферы, и «Земля» в виде «вторичной» вулканической коры, и воздух в виде первичной атмосферы (протоатмосферы).

Однако вернемся к истокам геологической истории нашей планеты, начавшейся после того как она на заре своего планетарного существования (4,5—3,5 млрд. лет назад) прошла стадию гравитационного сжатия и разделения вещества по плотности и запасам потенциальной энергии, приобрела более сложную и четкую оболочечную структуру, превратившись из планеты с относительно слабо дифференцированной перисферой (внешней оболочкой) в планету с многослойной мантией и начальной «гравитационной» корой.

Дегазация мантии сопровождалась выносом на поверхность в течение всей геологической истории при вулканических извержениях (с начала которых, как мы помним, и ведется отсчет этой истории) вместе с силикатным расплавом также и воды, растворимость которой в расплавах колеблется в зависимости от их состава от 3 до 5%. Однако за счет этой «синвулканической» воды, как показывают расчеты, за всю геологическую историю Земли могло образоваться не более половины (а вообще гораздо меньше) объема современного океана. Ученые считают поэтому, что гидросфера Земли образовалась как за счет выноса воды магмой («ювенильной» воды), так и за счет конденсации водяных паров первичной атмосферы. Очень образно представляет себе процесс формирования первичной гидросферы Земли У. Кромби. По мере того как Солнце срывало с Земли густое покрывало тумана, состоящего из водорода и гелия, Земля, вращаясь с очень большой скоростью, продолжала выбрасывать огромное количество пара и других газов, которые добавлялись к ее первичной газовой оболочке. Так зародилась наша теперешняя атмосфера. Затем пар сгустился, и дожди, равных которым по силе не было ни до, ни после, хлынули на темную бутристую Землю. Вода «хлынула» и из вулканов, горячих источников и «дымовых трещин».

Если первый образ является не только художественным, но и точным, то второй нужно принимать с большой оговоркой. В виде горячих источников, озер и даже рек вода могла «хлынуть» из вулканов только, как мы отмечали, в завершающие этапы тектоно-магматических циклов в истории Земли. Таким образом, Мировой океан пополнялся водой, которая не «вытекала из глубин

медленно, в течение миллиардов лет», а прерывисто, в конце отдельных тектоно-магматических циклов ее геологической истории.

Возвратимся, однако, к периоду «первых дождей», которые сформировали протоокеан. Лоуренс Дж. Калл измерил содержание воды в метеоритах и нашел, что оно равно 0,5%. Исходя из предположения о том, что метеориты содержат пропорционально своей величине столько же воды, сколько содержала ее изначальная Земля, Калл рассчитал, что только 6% этой воды было бы достаточно, чтобы наполнить все океаны. Следовательно, можно думать, что и протоатмосфера имеет также «ювенильное» (обусловленное дегазацией недр планеты) происхождение. При этом дефицит в половину объема Мирового океана, который наблюдался бы в том случае, если бы вода выносилась из недр только магмой, указывает на то, что при формировании силикатической коры планеты вместе с образованием силикатного расплава (в паргепезисе с ним) происходило и образование воды и других летучих — второй составляющей вулканического процесса. Лишь очень небольшая их часть выносилась магмой на поверхность Земли при извержении вулканов.

Огромное количество этой «второй составляющей», эндогенного флюида, являясь тепло- и массоносителем, обуславливало процессы метаморфической дифференциации силикатической коры планеты, рост мощности ее гранитного слоя, рождение всех минеральных богатств планеты и совместно с «вулканическими» газами и водой последовательное, хотя и прерывистое, формирование гидросферы и атмосферы Земли. Эта вторая составляющая входила и в состав газов, которые вырывались из недр планеты в протоее и особенно в дейтероее. «Первые дожди» пали на Землю не только воду, но и рудные элементы и неметаллические соединения, устойчивые в высокоминерализованном и горячем растворе, какой представлял собою протоокеан.

Правда, в ходе геологической истории Земли «долевое участие вулканической» воды и эндогенного флюида в формировании массы Мирового океана направленно менялось. Усиление вулканической деятельности в неогее, а особенно в новейший этап геологической истории, когда «изверглось» около $\frac{2}{3}$ всего объема лав Земли, позволяет говорить о том, что доля «вулканической» воды в пополнении Мирового океана нарастала и главная его масса

была сформирована в конце протогей, и именно за ее счет. Огромную роль эндогенный флюид играл и в формировании атмосферы нашей планеты. По аналогии с газовыми выделениями современных вулканов и составом тех летучих, которые «консервируются» магмой при ее кристаллизации в минералах, можно думать, что в протогее и дейтерогее в атмосферу приносились пары воды, CO_2 , CO , CH_4 и небольшое количество таких кислот, как NH_3 , HCl , HF , H_3BO_3 , H_2S , SO_2 . Свободного кислорода в атмосфере еще не было. В водах океана также резко преобладали кислоты. Это был химически очень «агрессивный» океан, который «растворял» первичную сушу с переводом в раствор океана Na , K , Ca , Fe и Mn в виде хлоридов, фторидов и боратов этих металлов. Этот же эндогенный флюид, формировавший океан, способствовал растворению в водах океана таких элементов, как кремнезем (SiO_2).

Для понимания многих особенностей эндогенных процессов рудообразования, о которых мы расскажем в следующей главе, интересно отметить, что климатические условия в протогее и, видимо, еще в дейтерогее были «сверхтропическими». Температура приземных слоев, как считается, могла быть выше 50°C , а в океане и больше. Земная кора была сильно прогрета; как предполагают ученые, геотермический градиент ее в то время превышал современный в 5—6 раз. Это значит, что те эндогенные процессы, которые в наше время происходят на больших глубинах, могли протекать в протогее и дейтерогее у самой поверхности Земли.

Ко второй половине дейтерогей относится появление древнейших водорослей и бактерий. Это также был один из фактов, имевших важнейшие геологические следствия. Сине-зеленые водоросли положили начало активному фотосинтезу кислорода, количество которого в древней атмосфере и океане значительно увеличивается. В связи с окислением CO и CH_4 в CO_2 резко возрастает «углекислотность» атмосферы. Парциальное давление CO_2 в этой атмосфере могло достигать десятков атмосфер. Лишь с развитием известьдобывающих организмов и массовым осаждением карбонатов происходит сдвиг в солевом составе океанических вод в сторону повышения относительного содержания хлоридов (главным образом, Na и Mg). К началу фанерозоя, когда поверхностный слой океана заселяется фитопланктоном, растут масштабы фотосинте-

за и одновременно фоссилизирован (т. е. связывается в карбонатный скелет организмов) углекислый газ атмосферы. В ней происходит накопление кислорода и увеличение доли не участвующего в геохимических процессах инертного азота. Лишь к позднему палеозою природа, «стремясь привести планету в термодинамическое равновесие с космической средой», смогла, изменив состав, массу и плотность атмосферы и сделав ее более прозрачной, вновь «наладить» естественный теплообмен, который был довольно затруднен деятельностью интрателлурического потока эндогенного флюида, второй составляющей вулканического процесса жизни планеты.

При этом природа оставила нам не только вулканические гидротермальные источники, на которых ученые гидрохимики и рудники изучают химическую эволюцию планеты и современные процессы рудообразования. Вулканы создали и продолжают создавать для человечества природные лечебницы, привлекающие пристальное внимание ученых-медиков, которые изучают бальнеологические свойства вулканических гидротерм, на базе которых создаются одни из самых действенных курортов. Есть и специальная наука, которая ими занимается — курортология.

Гидроминеральные лечебные богатства вулканических районов, не только современных, но и древних, очень велики. Сероводородно-углекислые термы известны на многих вулканах Камчатки. Однако действие их на организм человека в связи с их перегретостью скорее вредное, чем полезное, и никаких курортов на действующих вулканах, как пишет ученый-вулканолог Л. Н. Барабанов, создавать не рекомендуется. Эти воды при применении в лечебных целях требуют значительного разбавления.

Гораздо большей и оправданной популярностью пользуются минерализованные азотно-углекислые вулканические воды, выходящие на поверхность у подпожий крупных вулканических массивов. Такие источники и гейзеры на Камчатке, содержащие хлориды и сульфаты натрия, кремнезем, бор, имеют наибольший лечебный эффект в связи со своей минерализацией. Правда, и эти воды трудно охлаждать. Обычно это делается водой соседних рек, что снижает ценность вод.

Наибольшей бальнеологической ценностью, с точки зрения специалистов, обладают углекислые термальные воды, образующиеся в межгорных долинах и бассейнах

в слоях водоносных пород, соприкасающихся с неостывшими корнями вулканов. Углекислые источники вытекают у подножия как действующих вулканов, так и древних вулканических хребтов. Минеральный состав таких вод формируется в результате глубинного углекислотного выщелачивания различных типов горных пород и поэтому очень разнообразен. Они содержат бор, мышьяк, кремнезем и разнообразные микроэлементы.

Следует обращать внимание на необходимость первоочередного освоения наиболее ценных углекислых источников, особенно расположенных в доступных и живописных местностях вулканических районов.

глава IV

ВСЕ „ЗОЛОТО“ МИРА

Назвав так эту главу, мы хотим подчеркнуть и показать на примерах, что, по сути дела, все минеральные рудные богатства Земли прямо или опосредствованно связаны с вулканизмом или, в более общей форме, с эндогенным тепло- и массопереносом, формой которого является вулканизм.

Однако, как верно заметил еще в 1802 году Дж. Плейфэр, мы очень любим подсчитывать богатства рудников, но природа вообще не знает, что такое богатство. Шпаты и другие жильные минералы нами выбрасываются в рудничные отвалы, но самой природе они, возможно, кажутся драгоценными и чрезвычайно важными для своего устройства.

Более того, учитывая направленное развитие планеты и тенденцию к выносу и рассеянию в



Мировом океане рудных компонентов на всех этапах развития Земли, само формирование очень крупных скоплений металлов (в виде рудных минералов) является скорее отклонением от общей закономерности, чем нормой.

Таким образом, может быть, более правильно было бы назвать эту главу «Пикник на обочине». Даже отклонения и задержки в реализации планетарного процесса выравнивания разницы энергетических потенциалов между Землей и окружающей космической средой составляют для человечества источник неисчерпаемых богатств и поводов для размышления. При этом понятие «богатство» изменяется. В сферу интересов человечества вовлекаются новые химические элементы, источники которых еще недавно не находили применения, скапливались в отвалах.

Меняются кондиции на руды. Считавшиеся ранее непромышленными из-за низких содержаний металла многие месторождения составляют сегодня основу естественных национальных богатств (так было со знаменитым месторождением золота Ранд и многими другими).

Недалеко то время, когда человечество сделает репутбельным использование в качестве «руды» воды Мирового океана. Наверное, настанет время, когда золото перестанет быть мерилем вложенного труда и мерой богатства. Сбудется предвидение В. И. Лепина, и из золота, красивого, полезного, но дефицитного человечество будет делать предметы домашнего обихода.

Однако еще долго многие поколения людей, как это было и много веков и даже тысячелетий назад, будут использовать уникальные месторождения металлов, случайно созданных природой. Пусть читателя не смущает это слово. Как нигде в естествознании, в науке о закономерностях формирования рудных месторождений и размещения их во времени и пространстве (**металлогении**), ярко выражена материалистическая категория о том, что случайность есть лишь форма проявления закономерности. Геологи-рудники совершенствуют свои знания об условиях проявления этих случайностей и прогнозируют месторождения руд.

Прежде чем рассказать о рудных месторождениях, образование которых связано с проявлением вулканизма, остановимся очень кратко на критериях, которыми определяется эта связь, и на ее формах.

Среди рудных месторождений выделяется группа, для которой связь с вулканизмом устанавливается совершен-

но однозначно. Это так называемые **симвулканические** месторождения. Их образование происходит одновременно (синхронно) с проявлением вулканического процесса. Сюда относятся собственно вулканические наземные и вулканогенно-осадочные месторождения. Последние формируются в подводных условиях в связи с осаждением на морском дне нерастворимых продуктов реакций эманаций, выделяемых вулканами и морской водой.

Вулканогенное рудообразование, связанное с деятельностью современных и древних вулканов, как пишет академик В. И. Смирнов, может формировать металлогенический облик целых регионов и даже стран. Таковы Япония, Урал, Алтай, Кавказ, Мексика, Перу, Боливия и многие другие.

Трудно сказать, на примере каких именно рудных месторождений связь с вулканизмом проявляется наиболее ярко. Несомненно, однако, что колчеданные медные и полиметаллические руды так называемого типа «куромопо» являются одними из самых типичных вулканических руд. Особенно их пластовые разновидности, за которыми в настоящее время признается вулканогенно-осадочное происхождение.

Как считают японские геологи, в развитии каждого центра вулканической деятельности может быть выделено несколько стадий. Первая стадия характеризуется сильными подводными магматическими взрывами раскаленной магмы, приходившей в соприкосновение с морской водой. При этом накапливались толщи вулканических пород. На второй стадии в эти толщи внедрялись лавовые куполы. На флангах этих куполов происходили взрывы пара. Последнюю стадию вулканической активности представляет активность горячих источников, которая и привела к образованию месторождений сразу после взрывов пара. После процесса рудообразования вулканическая деятельность затухает.

Те же явления можно наблюдать и в современных вулканах, расположенных на суше, где взрывы пара и последующая сольфатарная деятельность представляют собой захлывающую стадию вулканической деятельности.

В Японии эти явления характерны для вулканов Хаконе и Багдай, в Советском Союзе — на Курильском острове Кунашир для вулкана Менделеева, на Камчатке — для вулкана Мутновского и многих других.

Тем не менее сходные по составу, строению и геоло-

гической позиции месторождения могут оказаться различными по способу происхождения. Эту их особенность академик В. И. Смирнов, а вслед за ним и многие другие ученые называли конвергентностью колчеданных месторождений.

Геологические условия нахождения колчеданных месторождений, как пишет В. И. Смирнов, удивительно выдержаны во всем мире. Они приурочены исключительно к субмаринным, т. е. подводно-морским вулканогенно-осадочным комплексам пород, хотя, может быть, следовало бы добавить, что особенно это относится к так называемым осадочно-эксталяционным месторождениям, так как мы помним, что классические колчеданные пиритовые руды формируются сегодня и на наземных вулканах.

А вот вынос рудообразующих компонентов на дно моря вулканическими эксталяциями приводит к формированию на дне этого моря наиболее типичных вулканогенных месторождений. Продукты подводных вулканических взрывов, попадая в резко изменившуюся физико-химическую среду придонной части моря, выпадали в осадок, рассортировывались и образовывали рудные залежи. Особенностью таких месторождений является нередкое расположение над ними сургучных кремнистых яшм и радиолярий — организмов, строивших свой скелет из кремнезема, выносимого подводными вулканическими эксталяциями.

Вторая группа месторождений — поствулканическая — связана с действием второй составляющей. Такое деление очевидно, его можно формулировать, обобщив содержание предыдущих очерков. В подводных условиях может протекать и вынос металлов эндогенным флюидом.

Учитывая изменение в ходе тектоно-магматического цикла развития вулканических поясов и центров условий глубинности, в которых происходит разгрузка рудоносного флюида, геологи выделяют внутри второй группы месторождения **эпитермальные, мезотермальные и гипотермальные.**

Эпитермальные месторождения образуются, как правило, на небольшой глубине (не более 1 км от поверхности) в температурном интервале 100—200° С. Характерная черта этих месторождений — широкое развитие в пределах рудных полей структур вулканического происхождения, которые, по существу, и являются рудовмещающими. Эпитермальные месторождения преобладают в моло-

дых позднемезозойских и кайнозойских вулканических поясах. Они часто пространственно ассоциируют с современными горячими источниками, завершающими развитие вулканизма. Весьма характерны минералы эпитермальных месторождений, отражающие особенности их образования.

Нерудные минералы представлены кварцем, часто аметистовидным, халцедоном, низкотемпературным калиевым полевым шпатом-адуляром, кальцитом, родохритом, баритом, флюоритом. Список этих очень сложных по составу рудных минералов огромен. Это сульфоантимониды и сульфоарсениды серебра (полибазит, стефанит, пирсеит, пираргирит, прустит и др.), антимонит, аргентит, киноварь, самородная ртуть, теллуриды золота и серебра — петцит, сильванит, калаверит, гессит и т. д., широко развиты селениды золота и серебра. Характерны также и обычные сульфиды свинца, цинка, меди.

Отличительной особенностью эпитермальных месторождений, связанной с быстрым и массовым выпадением рудной нагрузки флюида при резком изменении условий растворимости соединений металлов, является сложность формы рудных тел, их невыдержанность по глубине, мощности. Однако с этими же приповерхностными условиями связано и наличие в этих месторождениях исключительно богатых металлами участков — бонанц. Мы расскажем далее о некоторых из них.

Эпитермальные месторождения поставляют заметную долю мировой добычи золота и серебра. К ним относятся месторождения ртути, сурьмы, флюорита, меди (медно-цеолитовые руды), а иногда и комплексные полиметаллические руды (Cu, Pb, Zn, Au, Ag) и даже редкометалльные (Hg, W, Be, Sn).

Мезотермальные месторождения образовывались в условиях умеренных глубин при температурах примерно в 200—300° С. Часто мезотермальные условия характеризуют глубокие горизонты эпитермальных месторождений, хотя промышленными являются либо те, либо другие руды, а не те и другие вместе. В районах развития мезотермальных месторождений различаются еще структуры центрального типа, свойственные областям проявления вулканизма. Однако правильнее было бы называть их уже не вулканотектоническими, как на более высоком структурном этаже, а тектопо-магматическими, хотя бы и кольцевыми (иногда их неправильно отождествляют с

кальдерами, структурами кольцевого проседания над периферическими магматическими очагами вулканов). Связь с вулканизмом на мезотермальных месторождениях выражена достаточно четко, хотя собственно вулканические продукты в пределах вскрытых эрозией рудных полей этих месторождений чаще отсутствуют и наблюдаются лишь на периферии. Руды чаще залегают внутри или в ореолах вокруг среднеглубинных по условиям формирования интрузивов.

Среди типичных полезных ископаемых мезотермальных месторождений также можно назвать медь, свинец, цинк, серебро и золото. Однако рудные минералы, которыми сложены руды, более высокотемпературные и менее сложные по составу. По преимуществу это простые сульфиды — галенит (PbS), халькопирит ($CuFeS_2$), сфалерит (ZnS). Присутствуют также энаргит, борпит, тетраэдрит, теннантит («блеклые руды»), перурдные минералы — по преимуществу кварц, карбонаты.

И наконец, **гипотермальные месторождения**. Они формируются при высоких температурах и на больших глубинах. Общий температурный интервал их образования составляет $300—500^\circ C$. Иногда наблюдаются переходы мезотермальных руд с глубиной в гипотермальные, хотя, как и в первом случае, более глубокие руды являются и более древними, свойственными более раннему тектономагматическому циклу.

Гипотермальные месторождения свидетельствуют об очень глубоком эрозионном срезе. Собственно вулканических структур на этом уровне, как правило, не наблюдается. Руды залегают в глубинных интрузивах. Однако космические съемки и региональный мелкомасштабный геологический анализ и в этом случае позволяют выявлять структуры центрального типа, гомологичные вулканотектопическим, хотя и гораздо более древние.

Руды гипотермальных месторождений — это руды золота, вольфрама, никеля, свинца и цинка и других металлов. Рудные тела чаще всего выдержанные на глубину, протяженные, с устойчивыми содержаниями полезного металла.

Совершенно особый вид вулканогенного образования представляет собою перенос и отложение рудных компонентов поверхностными термальными водотоками в бассейны осадконакопления. Эти вопросы детально рассматриваются советским ученым К. К. Зеленовым. Им уста-

новлено, что легко растворимые галлоидные и серноокислые соли щелочных металлов продолжают оставаться растворенными и в водах бассейнов стока, пополняя их солевой состав. В растворе остается и подавляющая масса кремнезема, по отношению к которому смкость природных, в том числе и океанических, вод необычайно велика. А вот судьба железа и алюминия при их перемещении термальными водотоками совершенно иная. Там, где термальные водотоки невелики при окислении закисного железа в окисное, происходит его быстрое осаждение в виде бурого лимонита на склонах оврагов, в долинах ручьев и мелких рек. Более крупные водотоки выносят взвесь гидроокислов железа в море. При этом наблюдается интенсивное окрашивание придельтовых частей моря в буро-красные тона. Количество выносимого железа может быть огромным. К. К. Зеленов подсчитал, что только одна речка Юрьева на Курильском острове Парамушир, берущая начало на вулкане Эбеко, выносит в море за одни сутки 35 тонн железа и 65 тонн алюминия.

Японские ученые установили, что, кроме железа и алюминия, поверхностные водотоки выносят в океан и сульфиды железа. Они упоминают также о постоянном отложении свинецсодержащего, иногда радиоактивного барита (сульфата бария), кремнезема в русле реки, берущей начало в термальных источниках Тамагава в районе вулканических гор.

Приведем наиболее интересные и одновременно представительные примеры месторождений перечисленных типов.

Собственно вулканические месторождения

К собственно вулканическим наземным месторождениям относятся преимущественно месторождения самородной серы. Экструзионные залежи такой серы характерны практически для всех действующих вулканов и наблюдаются в виде ярко-желтых, оранжевых, зеленоватых скоплений. Запасы такой серы редко превышают первые тысячи, иногда десятки тысяч тонн. Для серы это очень небольшие величины. Такие скопления серы разрабатывались ранее кустарным способом отдельными семьями жителей вулканических островов.

Однако серные газы, растворы, попадая в рыхлые вулканические породы, слагающие отдельные мощные

слои вулканов, иногда образуют месторождения с запасами в десятки миллионов тонн. Это так называемые месторождения замещения. Они обнаружены в СССР на Камчатке и Курильских островах, в Японии, Чили, Индонезии. Весьма интересные явления наблюдаются в тех случаях, когда «оживает» древний вулкан, отдельные горизонты постройки которого ранее подверглись такому замещению серой. Вторичное разогревание месторождения приводит к выплавке из него самородной серы, потоки которой заливают речные долины и ущелья. Так было, например, на острове Хоккайдо в Японии, когда из вулкана Йо-Сан излилось 200 тысяч тонн серы.

Но не только сера может изливаться из вулканов. В северной части Чили расположен вулкан Лако, который изливает рудную магму, состоящую в основном из магнетита и гематита с небольшим количеством апатита. Масса излитой руды оценивается в семьдесят тысяч тонн. Природа этого явления, правда, еще не разгадана. В Африке известны вулканы, изливающие карбонатитовую лаву. Главное в наземных извержениях — это формирование месторождений самородной серы, которая одна устойчива в этих условиях.

Вулканогенно-осадочные месторождения

Это сложная группа хемогенных месторождений, внутри которой выделяются месторождения эксгальационно-осадочные и просто осадочные, рудные элементы которых, однако, имеют вулканическое происхождение, даже если они и переносятся сточными водами на значительные расстояния, в бассейны осадконакопления, окаймляющие области проявления наземного или подводного вулканизма. Часто геологам бывает трудно однозначно решить вопрос о природе того или иного стратиформного (т. е. пластового рудного) месторождения. Можно без преувеличения сказать, что почти всегда имеются две точки зрения на их генезис. Одна — за сингенетическое образование с осадками, другая — за эпигенетическое, связанное с процессами, которые протекали в осадочных пластах пород после их формирования.

Тем не менее мы можем привести примеры осадочных месторождений железа, марганца, меди и некоторых комплексных руд, которые несомненно связаны с деятельностью вулканов или даже эндогенного глубинного флю-

ида. Не ставя перед собой задачи даже краткого обзора проблемы в целом, расскажем о наиболее типичных и интересных случаях вулканогенно-осадочного рудообразования.

Месторождения железа. Остановимся на месторождениях так называемой железистой формации (это хемогенный железисто-кремнистый осадок, обычно тонкослоистый и полосчатый, содержащий от 15 до 35% железа). Железо в породах содержится в виде магнетита, лимонита, гематита, отчасти пирита и сложных гидросиликатов, в которых железо присутствует как в двух-, так и в трехвалентной форме.

В железистых формациях, как правило, нет органических остатков. Они формировались исключительно в докембрийскую эпоху. Исследователи пришли к выводу, что колоссальное накопление минералов железа произошло в результате специфических условий, которые позднее не повторялись. Какие же это условия?

В предыдущих главах мы рассказывали об особенностях гидросферы и атмосферы дейтерогоя, об огромном планетарном значении для геологических процессов появления первых сине-зеленых водорослей и начале фотосинтеза кислорода. Типичными осадками химически агрессивного протоокеана в дейтерогее как раз и являются кремнисто-железистые осадки — джеспилиты и хемогенные высокоглиноземистые осадки. Окисление железа кислородом начавшегося фотосинтеза приводит к снижению его растворимости в водах океана или, точнее, в тех отдельных его участках (впадинах), где имелись повышенные концентрации железа. Такое массовое выпадение минералов железа позднее не повторялось. Уже в рифее и фанерозое характерные для дейтерогоя хемогенные осадки Fe и Al исчезают.

Железистая формация хемогенных осадков является прямым результатом вулканической деятельности, результатом выноса железа и кремнезема вулканическими эманациями. Очень часто отмечается пространственная близость бассейнов хемогенного осадконакопления и областей вулканической деятельности, которая происходила одновременно с процессом формирования железисто-кремнистой джеспилитовой формации. Однако частично железисто-кремнистые осадки, возможно, образованы за счет материала переработки агрессивными кислыми водами океана пород суши. Правда, это вывод чисто логи-

ческий, так как отсутствие в таких глубокоэродированных областях, какими являются кристаллические щиты, синхронных железистым формациям вулканитов может быть связано с эродированностью последних, расположенных в областях спаса. Кроме того, очень часто установление первичной вулканической природы древнейших образований вызывает трудности. Как предполагают многие ученые, древнейшие метаграниты на самом деле являются первично вулканогенными метаингимбритами.

Масштабы месторождений железа типа железистых кварцитов, или джеспилитов, необычайно велики. Запасы металла исчисляются миллиардами тонн. Например, только месторождения района озера Верхнего дали к шестидесятым годам текущего столетия около 3,5 миллиарда тонн железистой руды. Таковы месторождения в СССР, Индии (около 4 млрд. т 60 %-ной руды в гематитово-кварцевом пласте среди осадочных и эффузивных (вулканических) свит архея).

Месторождения марганца. Подобное же вулканогенно-осадочное происхождение имеют, по-видимому, и древнейшие марганцевые месторождения, которые квалифицируются в настоящее время как осадочные, связанные с окислением и обогащением марганцевыми минералами первичных хемогенных осадков за счет выноса из них кремнезема (SiO_2) и глинозема (Al_2O_3). Таковы месторождения Индии (Центральные провинции, Мадрас и др.), Золотого Берега (крупнейший марганцевый рудник мира Нзута дает ежегодно 500—600 тысяч тонн руды с содержанием марганца 50—53%), Бразилии (Минас, Байя и др. — запасы руды составляют на отдельных рудниках до 6 млн. т при содержании марганца 48—51%).

Однако в отличие от месторождений железа железисто-кремнистой формации вулканогенно-осадочные пластовые марганцевые и железомарганцевые месторождения наблюдаются и в связи с палеозойским, мезозойским и кайнозойским вулканизмом. Более того, марганцевые руды в огромных масштабах формируются на дне океанов и связаны с современным подводным вулканизмом. При этом руды и вмещающие их кремнистые породы, аспидные сланцы, вулканические туфы и лавы основного состава обогащены такими элементами, как Sr, Ba, B, As, Sb, Bi, Mo, Ni, Co. Месторождения перечисленных возрастов известны в Японии, США и других странах.

Месторождения меди. Стратиформные (пластообразные) залежи медных руд распространены чрезвычайно широко. Их образование связано с деятельностью подводных вулканов самого различного возраста. Руды часто отлагаются на дне морей и озер или в районах их побережий в результате комбинации процессов осаждения как из-за простого пересыщения, так и вследствие химических реакций с участием эндогенных рудопосных флюидов. Так называемые эксгальационно-осадочные скопления меди в виде минерала халькопирита совместно (сульфидом железа (пиритом)) образуются практически во всех медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождениях мира на ранних стадиях рудного процесса. Позднее на эти ранние эксгальационно-осадочные руды накладываются уже эпигенетические гидротермальные процессы, приводящие к формированию свинцово-цинковых (с золотом, серебром и другими металлами) руд. Поэтому колчеданные месторождения называются полигенными полихронными. Некоторые исследователи считают синвулканическими и свинцово-цинковые руды, связывая их также с деятельностью подводных горячих источников и определяя руды как подводные травертины.

Эксгальационно-осадочные вулканогенные месторождения меди известны практически во всех странах мира, в вулканических поясах самого различного возраста — от каледонского до современных. И во всех странах, за исключением, может быть, США, они являются одним из основных источников меди. Таковы месторождения Урала и Кавказа в СССР (палеозойские и мезозойские) Испании (горное сооружение Испанская Месета, месторождения которой удивительно похожи на Уральские) Японии (палеозойские месторождения медистых пиритов метаморфизованного вулканогенного пояса Санбагаи так называемые месторождения типа Бесси, мезозойские месторождения гор Хидака и, наконец, многочисленные медно-полиметаллические неогеновые месторождения типа Куромоно и др.).

Говоря о вулканогенно-осадочных месторождениях меди, следует иметь в виду вулканический источник меди в типично осадочных месторождениях типа медистых песчаников, в которых цемент этих песчаников замещен медным сульфидом халькозином. Это очень богатые месторождения.

Заключившая краткий рассказ о вулканогенно-осадоч

ном рудообразовании, остановимся на интереснейших примерах современного подводного рудообразования. Современные процессы у нас на глазах приводят к формированию месторождений, равных которым по запасам металлов и общей стоимости этих металлов нет в геологической истории. Они являются вполне закономерными и отражают направленную эволюцию рудообразования в истории развития Земли, тенденцию приближения его к поверхности и выход на эту поверхность. Специфические подводные условия обусловили именно возможность концентрации металлов, которая, как мы помним, не свойственна наземным условиям разгрузки рудоносного флюида (глава III).

Марганцевые конкреции Тихого океана. Океан, как пишет Дж. Мери в книге «Минеральные богатства океана», это грандиозное хранилище минеральных богатств, составляющих основу индустрии. Однако из пяти областей, которые он выделяет в океане по господствующим в них физико-химическим условиям (морские побережья, морская вода, континентальные шельфы, донные осадки и коренные породы, залегающие под осадками), нас интересуют прежде всего донные осадки. Именно в них за последние годы найдены колоссальные запасы минерального сырья чрезвычайно большой экономической значимости. Сравнительно с континентальными гидротермальными месторождениями в донных осадках океана обладают преимуществом равномерного распределения полезного компонента. Не рассматривая терригенных осадков, распространенных вблизи берега, илов и глин пеллагических (удаленных от берега) осадков, остановимся на марганцевых конкрециях, связь которых с явлениями подводного вулканизма устанавливается совершенно отчетливо.

Конкреции двуокиси марганца впервые были обнаружены экспедицией «Челенджер» в 1873—1876 годах в восточной части Тихого океана (в области Восточно-Тихоокеанского океанического поднятия). Позднее они были обнаружены на дне Индийского океана.

С экономической точки зрения марганцевые конкреции являются важнейшими глубоководными осадками океана.

Окислы марганца и железа образуют на океанском дне зерна, стяжения, плиты и корки, обычно покрывающие выходы коренных пород. Скалы на дне океана оказываются покрытыми коркой окислов марганца и железа, толщина которой достигает 10—15 сантиметров.

Форма конкреций и их величина самые разнообразные, от глобулей с диаметром в доли миллиметра (0,5 мм) до плоских овоидов ($170 \times 145 \times 50$ см) весом в 1 тонну. В благоприятной для формирования конкреций обстановке их диаметр может достигать нескольких метров.

Распределение и концентрация марганцевых конкреций определяются подводным формированием. Проведенные исследования показали, что повышенные концентрации и запасы марганцевых конкреций в юго-западной части Тихоокеанского бассейна составляют 10^{11} тонн (т. е. 100 млрд. т), а всего их в Тихом океане 1700 миллиардов тонн. Если учесть, что в материале конкреций содержатся повышенные концентрации таких металлов, как ванадий (до 0,11%), кобальт (до 2,3%), никель (до 2,0%), медь (до 1,6%), молибден (до 0,15%), серебро (в среднем 0,0003%), свинец (до 0,36%) и многие другие металлы — бериллий, ниобий, олово, вольфрам, ртуть, уран и др., можно представить себе, какие запасы этих металлов хранит дно океана. Одного, например, серебра в юго-западной части Тихого океана $30-45 \cdot 10^6$ тонн.

Уже сегодня в пределах дна океана выделяются металлогенические провинции — высокожелезистые, высокомарганцевые, с высокими содержаниями никеля и меди, с высоким содержанием кобальта и другие.

Аналогичные конкреции обнаружены и в ряде участков дна Индийского и Атлантического океанов.

Изучение марганцевых конкреций показывает тесную их связь с продуктами подводных вулканических извержений. Ученые пришли к выводу, что эти колоссальные запасы руд сформировались вследствие подводного вулканизма при интенсивном взаимодействии между горячими лавами и морской водой, между морской водой и вулканическими эманациями (в том числе и эндогенным флюидом). Подавляющая масса продуктов этих реакций — руд осаждалась на дне океана близ центров подводных извержений, образуя конкреции.

Современное гидротермальное рудоотложение, связанное с вулканизмом в донных впадинах Красного моря Рудоносные осадки только одной из трех впадин Красного моря Атлантис II, согласно Дж. Бишоффу и Ф. Мангейму, уже в настоящее время оцениваются в 2,5 миллиарда долларов. Эти исследователи подсчитали средние содержания металлов в трех главных типах осадков. Затем

учитывая площади их развития и мощности отложений, были подсчитаны запасы руд, содержащих в переводе в окислы Fe_2O_3 , Mn_3O_4 , ZnO , PbO , AgO , а также Cu и Au . Установлено, что общие запасы твердого рудного вещества во впадине Атлантис II равны $1183 \cdot 10^6$ тонн. Общий объем рудных осадков — $48 \cdot 10^7$ кубических метров. Стоимость запасов по отдельным металлам только в верхних 10 метрах осадков составляет:

Zn — 860 миллионов долларов,
 Cu — 1270 миллионов долларов,
 Pb — 22 миллиона долларов,
 Ag — 280 миллионов долларов,
 Au — 50 миллионов долларов.

Общая стоимость руд этого месторождения — 2480 миллионов долларов (или 2,5 млрд.). Только один кубометр дошлых осадков стоит 5,2 доллара.

При этом нужно иметь в виду, что мощность рудопосных осадков, определенная сейсмическими методами (МОВ), достигает 20 метров, а в отдельных случаях — 100 метров.

Как же образовались эти богатейшие месторождения, которые предстоит освоить человеку, т. е. научиться экономически выгодно поднимать рудопосные осадки с глубин 2000 метров?

Не рассматривая детально геологическую ситуацию в районе Красного моря, укажем, что структура Красного моря представляет собою **рифт**, т. е. участок земной коры, где наиболее интенсивно проявляются процессы расширения Земли и раздвигания морского дна. Эти области везде на планете характеризуются интенсивным проявлением вулканизма и других форм тепло- и массопереноса в процессе истечения потока эндогенного флюида. Не является исключением и рифт Красного моря. Здесь вулканизм начался излияниями базальтов и затем кислых эффузивов в раннее третичное время. На этой же поздней стадии на глубине происходило становление глубинных гранитных интрузивов.

В миоцене (25 млн. лет назад) здесь же начался так называемый аденский вулканизм, который продолжается и в настоящее время. Эти молодые аденские вулканы непосредственно связаны с системой Красное море — Восточно-Африканский рифт.

Растворы (или рассолы), образование которых связано с гидротермальной (связанной с вулканизмом) дея-

тельностью на дне моря, поднимались по отдельным каналам, выходящим на поверхность дна во впадине Атлантик II. Сульфидный ион (руды представляют собою скопления сульфидов) возник за счет восстановления сульфатного иона растворов при участии органического вещества в бескислородной придонной обстановке.

Гидротермальные рудные месторождения. В этом разделе о рудных полезных ископаемых, связанных с вулканизмом, мы расскажем о наиболее ярких, знаменитых месторождениях золота, серебра, ртути, молибдена, олова, меди и других металлов. Мы выбрали примеры таких месторождений, на которых связь с вулканизмом проявляется наиболее отчетливо. Нужно иметь в виду отмеченную выше особенность изменения формы этой связи в более древних месторождениях тех же металлов. Последовательность геологических событий является одной и той же на древних и на молодых месторождениях. Однако очевидная связь с вулканизмом, столь характерная для молодых, как правило, приповерхностных эпитермальных рудных месторождений, в их более древних гомологах утрачивается. Поэтому приведенные ниже примеры месторождений относятся к молодым месторождениям (мезозойско-кайнозойским). Суть дела не изменилась бы от привлечения многочисленных, хотя и не столь очевидных, примеров древних месторождений тех же металлов (исключая, может быть, ртуть).

Месторождения золота и серебра. Эпитермальные месторождения золота и серебра распространены в молодых вулканических поясах чрезвычайно широко. Они известны в Советском Союзе, в Северной, Центральной и Южной Америках, в Европе, Юго-Восточной Азии, Новой Зеландии. Количество их исчисляется многими десятками и даже сотнями. Обычно это месторождения с очень богатыми рудами, но с незначительными запасами металла быстро вырабатываемые (за некоторыми исключениями).

Тем не менее именно из руд этих месторождений сложились несметные богатства ацтеков и инков. Некоторые европейские месторождения тоже начали отрабатываться много столетий назад (в Трансильвании, Словакии, Чехии). Зодское месторождение в Армении, относящееся к этому типу начало разрабатываться в III тысячелетии до нашей эры.

Приведем некоторые примеры.

Трансильвания. Месторождения этого рудного

региона расположены в области проявления молодого миоценового вулканизма в пределах Средиземноморского подвижного пояса.

Область, расположенная в горах Апусени между реками Муреш и Ариеш, занимает территорию, которая известна под названием «золотого четырехугольника». Исследованиями установлено здесь наличие большого количества вулканических пород и структур палеовулканов — кальдер, приповерхностных интрузивных образований (дацитов)¹, которые слагают многочисленные куполы, жерла, в пределах которых чаще всего и размещаются рудные жилы и системы жил (штокверки).

Назовем главные типы месторождений.

1. Месторождения свободного золота, где золото (серебристое, с содержанием серебра до 30%) наблюдается в виде иголочек, проволочек (так называемое нитевидное золото), чешуек в кварцевых жилах.

2. Сульфидные месторождения со свободным золотом. В рудах присутствуют галенит, сфалерит и сульфосоли серебра.

3. Месторождения теллуридов золота. Они представлены минералами — нигиagitом, сильванитом, петцитом, креннеритом, гесситом.

Район Скалистых гор, Колорадо (США). Здесь известно много очень богатых месторождений золота и серебра. Одно из них — Кришл Крик, на котором работало 64 рудника. Отдельные рудники давали золота на 10—30 миллионов долларов.

Месторождение расположено на высоте 3000 метров внутри сложной раздробленной (брекчированной) массы изверженных пород, застывших, как считается, в жерле вулкана Кришл Крик, сложенного молодыми третичными вулканическими породами (эффузивами). Взрыв в жерле вулкана (третичного) образовал брекчиевую трубу Крессон.

Месторождение знаменито не только своим богатством, но и тем, что главным рудным минералом на нем являлся теллурид золота — калаверит (AuAgTe_2). Друзы (или кристаллические щетки) калаверита нарастали на стенках полостей и трещин. Были найдены феноменально богатые жилы и полости. Одна полость, заполненная

¹ Название этих пород происходит от древнего названия этой области — Dacia.

калаверитом, дала золота на 1,2 миллиона долларов. Так называемая труба, или бананца, Крессона оценивается в 35 миллионов долларов.

Подметая железнодорожные вагоны, в которых перевозились руды этих бананц, рабочие собирали золото.

Рудный район Сан-Хуан, Колорадо. Это район развития третичного вулканизма площадью около 10 тысяч квадратных километров. Разработка руд началась в 1873 году с добычи серебра. Затем были открыты богатые месторождения золота, меди, свинца и цинка. За период с 1873 по 1964 г. в районе добыто золота 31 340 килограммов, серебра — 5000 тонн, меди — 100 000 тонн, свинца — 630 000 тонн, цинка — 320 000 тонн.

Район Сан-Хуан представляет собой область мощного проявления третичного вулканизма. Главными центрами являются кальдеры Сильвертон и Лейк-Сити. Вулканические породы представлены андезитами, дацитами, риолитами и их туфами. В завершающую стадию развития структуры Сан-Хуан в вулканические породы внедрились интрузивы (глубинные неизлившиеся породы) кислого состава.

Образование поствулканических разломов, трещин и проявление интрузивной деятельности предшествовали формированию рудных трубообразных месторождений залегающих в вулканических трубках взрыва, и трещинных рудных жил.

Рудные тела прослеживаются и отрабатываются на значительную глубину (до 800 м) при протяженности до 3000 метров.

Полиметаллические руды сложены сульфидами свинца, меди и цинка. В богатых серебром рудах, кроме того, много серебросодержащих теннантита, тетраэдрита и прустита.

Свободное золото в ассоциации с кварцем наблюдается в наиболее поздних по времени образования жилах.

Одно перечисление американских эпитермальных месторождений заняло бы очень много места. Укажем только на наиболее известные: Гонопа в Неваде, давшее уже к сороковым годам настоящего столетия на 33 500 000 долларов золота и 47 113 тонн серебра, Компток (Невада), на котором только за первые 50 лет (с 1859 г. было добыто золота и серебра на сумму 381 400 000 долларов, Гольдфилд (Невада) и многие другие.

Многими общими чертами геологической позиции, т. е. связью с молодыми вулканическими поясами и со структурами отдельных вулканов внутри них, обладают месторождения золота и серебра Японии (Тои и др.), Новой Зеландии (Хаураки), Суматры (Редьянг-Лебонг), Чили, (Гуанако).

В СССР аналогичные месторождения также известны и представляют экономический интерес.

Однако даже учитывая значительное сходство всех месторождений подобного типа, нельзя не остановиться на знаменитых серебряных месторождениях Мексики, представленных аргентитовыми (Ag_2S) жилами. Это древнейшие (разрабатываемые) рудные районы Пачука (Реаль-дель-Монте), Гуанахуата, Фрезнило, Сакатекас, Чихуахуа, Эль-Оро и другие. На руднике Сакатекас с 1570 года добыто 5350 тонн серебра (добывается также свинец, цинк, медь). Длина горных выработок на руднике Эль-Потоси (Чихуахуа) составляет 800 километров. Району приписывается продукция металла на сумму 300 миллионов долларов.

Район Пачука (включающий Реаль-дель-Монте) со времени открытия в 1534 году был почти непрерывным источником серебра, стоимость которого исчисляется в 400 000 000 долларов. Район Гуанахуата дал, начиная с 1548 года, на полмиллиарда долларов серебра.

Геологи обычно ищут главную жилу. Такая главная жила, знаменитая Вета Мадре (материнская жила), есть в Гуанахуата. Ее длина 25 километров, средняя мощность 6—8 метров. Руда сконцентрирована в столбах длиной 200—400 метров и глубиной до 200 метров.

Мы не преследуем цель дать сколько-нибудь строгий, так называемый генетический обзор месторождений драгоценных металлов. Главное для нас — показать их связь с вулканизмом. Поэтому мы закончим обзор этих месторождений примером месторождения более высокотемпературного (ксенотермального) и несколько отличного по набору металлов — серебро-оловянным месторождением Потоси в Боливии. Этот район известен как самый богатый серебром в мире, а гора Церро-Потоси — как «самая богатая гора». С 1544 года здесь добыто более 30 000 тонн серебра. Конический вулканический пик Церро-Потоси, а точнее, Церро-Рико-де-Потоси (абс. отм. 4800 м), сложен риолитом или кварцевым порфиром (интрузив Потоси).

Многочисленные жилы полосчатого и друзового строения «прорезают» гору Потоси. По направлению вверх жилы разветвляются и таким образом большая часть горы Потоси сложена рудой. Окисленные руды содержали 3 килограмма серебра на одну тонну руды.

В Боливии известны и другие примеры подобных месторождений — Чокайя, Оруро и другие.

Месторождения так называемого боливийского типа есть и в других странах, в том числе и в СССР. Однако само месторождение Потоси является уникальным. Другого такого нет.

Месторождения ртути.

Определить связь месторождений ртути с магматизмом нередко вообще не удастся. Поэтому многие концентрации ртути относятся к классу телетермальных, т. е. низкотемпературных, и далеко удаленных от магматического очага¹. Однако в ряде случаев на месторождениях определенных типов связь с вулканизмом устанавливается отчетливо по ряду признаков (например, крупнейшее в мире месторождение ртути Альмаден).

Месторождение Альмаден расположено на склонах хребта Сьерра-Морена, почти в центре Испании. Рудник разрабатывается уже более 2000 лет, но все еще содержит крупнейшие из известных запасов ртути, которой можно снабжать весь мир в течение многих десятков лет.

Руды Альмадена — древние осадочные кварциты, «пропитанные» сульфидом ртути, киноварью. Однако возраст самой киновари молодой. Ее образование в древних кварцитах связано с третичной вулканической деятельностью, приведшей к внедрению в толщу кварцитов вулканических кварцевых порфиров. Показателем вулканического происхождения ртути является и наличие на месторождении Альмаден вулканических трубок взрыва, сложенных так называемым монашеским камнем (дробленая порода с обломками осадочных кварцитов, вулканических порфиров, сланцев и известняков). Эти породы были образованы взрывным вулканическим взрывом при прорыве газов, т. е. являются продуктом флюидизации (продуктом действия эндогенного флюида).

Район Монте-Амиата и его рудник Аббадия-Сан-Сальвадор в Италии — второй по ве-

¹ Таковы, например, месторождения Средней Азии.

личине рудник в мире. Он разрабатывался греками и римлянами. Месторождение связано с деятельностью современного вулкана Монте-Амиата, хотя руды залегают в подстилающих вулканические породы более древних известняках. Возраст месторождения 30 000 лет.

Месторождения района Опалит расположены на границе штатов Невада и Орегон в США. Даже наиболее древние горные породы района представлены молодыми миоценовыми вулканитами, состав которых колеблется от базальта до риолита. В начале вулканической деятельности сформировалась горизонтально залегающая серия вулканических пород мощностью в 1 километр. Затем эта толща была раздроблена разломами, по которым внедрились близповерхностные вулканические интрузивы и экструзивы риолитового (гранитного) состава. К этим риолитам приурочены все наиболее крупные рудные тела.

Оруденение наблюдается в линзах окварцованных риолитов. Форма рудных тел трубчатая, отражающая форму канала, по которому поступали рудоносные растворы. Содержание ртути в рудах составляет около 11 фунтов на тонну руды. Всего на месторождениях района Опалит было добыто 94 680 бутылей ртути (по 76 фунтов каждая) ¹.

И наконец, говоря о ртутных и сурьмяных месторождениях, нельзя не сказать о той их группе, образование которой в настоящее время связано с деятельностью вулканических термальных источников, подобных, возможно, колоссальным месторождениям в современных донных осадках Тихого океана и Красного моря.

К ним относятся месторождения западного побережья США. Рудопроявления такого же типа известны в СССР на Камчатке и в других странах.

Ртутные месторождения А м е д и расположены в восточной Калифорнии. Минералы ртути киноварь и метациннабарит (оба с формулой HgS) образуют налеты на породах, непосредственно окружающих жерла источников. По соседству с источниками в осадочных породах обнаружены шарики самородной ртути. Общее количество осадочной ртути оценивается, правда, всего в 200—400 фунтов. Таковы же рудопроявления источников Бойлинг, Косо.

¹ В таких единицах измеряется добыча ртути в США,

Источники Стимбот в Неваде также отлагали кинварь в недалеком прошлом и отлагают антимонит (Sb_2S_3) в настоящее время.

Огромные количества ртути были отложены источниками Салфер-Банк. Верхние горизонты месторождения, как мы уже упоминали, начали обрабатываться сначала как серные руды.

Месторождения олова. Еще 20 лет назад первое место в мире по добыче олова в капиталистических странах занимала Малайзия с ее богатейшими россыпями. А вот второе место в мире занимала опять-таки Боливия с ее молодыми вулканическими месторождениями, и 60% олова Боливии давала группа месторождений Унсия-Лалалагуа. Руда здесь приурочена к системе жил, залегающих внутри субвулканического приповерхностного штока (изометричного в плане тела), кварцевого порфира третичного возраста, жилы являются выполнениями трещин. В наиболее крупных жилах руда залегает в виде столбов, отдельные части которых феноменально богаты и содержат от 90 до 120 сантиметров сплошного касситерита, или оловянного камня (SnS_2). Серебро отсутствует. Руды верхних горизонтов содержали в среднем 8—12% олова. Заметим, что в считающихся богатыми более древних месторождениях, например Аляски, перерабатываются руды с содержанием олова 1,13%.

Среди месторождений, связанных с новейшим вулканизмом, находятся такие, как Спёр-Маунтин (США), содержащее запасы бериллиевых руд, превосходящих запасы любого из известных районов бериллиевой миперализации, крупные месторождения вольфрама, а также самые разновозрастные и многочисленные колчеданно-полиметаллические месторождения Урала, Кавказа, Алтая, Казахстана, Японии, Испании и многие другие.

Остановимся на рассказе о таких гигантах среди рудных месторождений, как медные месторождения Бьютт в штате Монтана в США и района озера Верхнего в штате Кляймакс в Колорадо и, наконец, золотом (и урановом) Витватерсрапде в ЮАР. Правда, последнее месторождение не является примером прямой связи с вулканизмом (хотя подобные гипотезы его образования и имели место), но в его формировании, хотя и опосредствованно, но несомненно сыграл роль древнейший вулканизм Земли.

Район озера Верхнего еще недавно считался вторым по величине медным районом мира. Он и сейчас является крупнейшим месторождением **самородной меди**. Месторождение (или месторождения) расположено на полуострове Кьюипоу в северо-западной части Мичигана на северном берегу озера Верхнего¹. Они развиты в пределах пояса шириной от 3 до 65 километров и длиной 160 километров. 42 километра из этих 160 были высокопродуктивны. Этот район начал разрабатываться еще в доисторическое время. Затем он был вторично «открыт» иезуитами в XVII столетии. Район стоял на первом месте по добыче меди в США до открытия рудного района Бьютт (1887), о котором мы расскажем ниже. В настоящее время он почти выработан². Район сложен 400 потоками базальтовых лав докембрийского возраста с прослойками песчаников и конгломератов. Рудные залежи, содержавшие основную массу руды, представляют собой пласты амигдалоидных (т. е. содержащие амигдалоиды — минеральные выполения шаровидных или миндалевидных пустот) пород, отличающихся чрезвычайным постоянством строения. Это пласты поздреватого базальта, в котором миндалевидным выполнением являются кальцит, эпидот, адуляр, цеолиты и самородная медь (нередко с «прорастаниями» самородного серебра).

На месторождении имеются жильные залежи и жилы. Скопления самородной меди в некоторых жилах достигали веса 500 тонн. Жилы содержат самородное серебро, а также некоторое количество сульфидов и арсенидов. Эти уникальные месторождения самородной меди видные исследователи связывают с древнейшей вулканической деятельностью. Так, В. Линдгрэн полагает, что месторождения образовались при температуре не выше 250°С вскоре после излияния лав и источником меди и других элементов являлись сами лавы.

Наличие концентраций самородной меди в ассоциации с низкотемпературными, содержащими большое количество кристаллизационной воды минералами-цеолитами в лавах основного состава известны и во многих других районах мира. Сюда относятся месторождения Монте-Катини близ Ливорно в Италии. Это молодые (моложе

¹ Район Великих Озер Северной Америки.

² В пределах района работало 100 компаний, руды содержали в среднем 1,27% Cu.

воцелена) руды. Еще более молодые — миоценовые руды этого типа известны на Командорских островах. Палеозойские месторождения и рудопроявления известны в СССР — в Казахстане, в США — в Аппалачах, Виргинии, Пенсильвании и во многих других районах. Самородная медь образуется и в современных гидротермальных системах. Однако Мичиганские месторождения, как и Боливийские, являются уникальными.

Рудный район Бьютт в Монтане (США) площадью всего около 18 квадратных километров с глубиной оруденения всего в 1 километр имеет более 1600 километров подземных выработок. Этот район дал, начиная с 1879 года, меди на общую сумму 2,3 миллиарда долларов. Еще ранее (1864—1867 гг.) здесь эксплуатировались золотые россыпи, затем с 1874 года — месторождения серебра. К 1964 году было добыто всего 7,4 миллиона тонн меди, 2 миллиона тонн цинка, 1,7 миллиона тонн марганца, 370 тысяч тонн свинца, 18 тысяч тонн серебра и т. д. По богатству этот район уступает лишь золотому Витватерсранду в Африке.

Геологическое строение района очень сложное. Отметим только, что образование руд связано с длительно живущим магматическим очагом, с которым отождествляется огромный интрузивный батолит Баулдер. Флюидное ядро батолита являлось центром концентрации летучих компонентов. Накопление и деятельность этого рудоносного флюида обусловили образование купольных рудоносных структур, в которых концентрируются жильные магматические тела (порфировые дайки) и знаменитые рудные жилы типа «конского хвоста» (жильная система Анаконда). Порфировые дайки и штоки являются дорудными и характеризуются уже субвулканической глубиной становления. Руды пересекаются уже риолитовыми дайками.

Образование кварцевых порфиров и рудных жил произошло через 20 миллионов лет после становления батолита, имевшего место 70—78 миллионов лет назад, т. е. в конце мелового периода. Однако магматическая деятельность продолжалась в районе и 10 миллионов лет спустя после образования рудных жил.

Явления же, выравнивающие структурные напряжения, которые создались в окружающих породах при формировании рудоносных купольных структур (релаксация), происходят еще и поныне.

Месторождение Кляймакс в Колорадо (США) является уникальным по запасам и качеству руд. К 1966 году было добыто 453 тысячи тонн молибдена. Пропутно из руд этого месторождения извлекаются вольфрам и олово. Запасы руды с содержанием 0,4% MoS_2 (молибденита) оцениваются в 400 миллионов тонн.

Молибденитовая минерализация Кляймакса связана со сложным штоком риолитовых порфиров, магматических пород, сформировавшихся (застывших) на субвулканическом уровне глубинности. Этот шток и ассоциирующие с ним трещинные магматические тела дайки имеют среднетретичный, т. е. совсем «молодой» возраст. Рудный минерал молибденит сконцентрирован в трех рудных телах, представляющих собой системы пересекающихся жил и тонких прожилков в так пазываемых штокверках.

Купольная структура месторождения вызвана силами магматического расплава, насыщенного летучими. В кровле куполов возникала система крупных радиальных и мелких трещин, которые вмещают парагенетически связанные дайковые магматические тела и руды. Весь молибденит развит в виде мелких кристаллов, тесно взаимопрорастающих с кварцем и другими минералами. Наибольшее экономическое значение имеют кварц-молибденитовые прожилки.

Таким образом, хотя собственно вулканических пород на месторождении Кляймакс и нет, его структура и механизм формирования подобны тем, которые наблюдаются на месторождениях, связанных с вулканизмом. В систематике рудных месторождений есть рубрика — месторождения «типа Кляймакс». Однако Кляймакс неповторим. Ни одно из месторождений типа Кляймакс не может сравниться с ним по богатству руд и запасам металла.

И наконец, рассказывая о рудных богатствах Земли, нельзя не остановиться на знаменитом золотом месторождении мира — Витватерсранде, или, как его называют, Рапде (ЮАР). Всего, по подсчетам специалистов, в мире, начиная с древней его истории и доныне, обращается или хранится в государственных кладовых 60 000 тонн золота. И 20 000 тонн золота за последние 100 лет дал Рапд. Золото Ранда залегает в тонких пластах конгломерата, входящих в систему (толщю осадочных пород) Витватерсранд. Конгломераты (окатанная галька в более мелкозернистом цементе) залегают в нижней части

системы Витватерсранд. Подстилают их древнейшие граниты и кристаллические сланцы.

Обычно золото и другие рудные минералы в конгломератах являются осадочными «россыпными» по происхождению. Таким «россыпным» месторождением многие исследователи долгое время считали и считают в настоящее время Ранд.

Однако форма нахождения золота в конгломератах, его шероховатость (отсутствие окатанности зерен), наличие чешуек, замещение им гальки и пирита, замещающего те же гальки, а также наличие других типично гидротермальных минералов и продуктов изменения горячими растворами пород (слюды, хлорит, серицит), дают другой группе исследователей основание считать Ранд месторождением не сингенетичным вмещающим его породам (конгломератам), а эпигенетическим. Сторонники теории гидротермального происхождения руд указывают и на то, что после отложения осадочных пород Ранда имела место вулканическая деятельность и что пласты конгломератов могли служить лишь каналами для эпигенетических поствулканических флюидов.

На тему о происхождении месторождения написаны тома. В одной половине этих томов доказывается осадочное происхождение, в другой — гидротермальное. Южноафриканские геологи настолько едины в своем стремлении защитить гипотезу россыпного происхождения руд, что относятся к ней как к делу национальной чести. Они считают, что источником материала осадков, в том числе и золота, были породы фундамента, в которых содержатся многочисленные небольшие золотоносные кварцевые жилы. Осадочные породы, содержащие в основании конгломераты, формировались в постепенно опускающемся озере или внутреннем море.

Естественно, что было бы неверно при формировании собственного отношения к генезису этого уникального месторождения просто отдать предпочтение какой-либо одной из гипотез. Хочется, однако, напомнить читателю одну особенность образования конгломератов Ранда, которая, как нам кажется, мало учитывается даже геологами. **Конгломераты формировались 2200 миллионов лет назад**¹, т. е. на границе протогей и дейтерогей. Мы уже рассказывали о химических особенностях протоокеана и

¹ Таков абсолютный возраст системы Витватерсранд.

протоатмосферы этого времени, о малых скоростях накопления осадков, связанных с отсутствием резко выраженного рельефа, и, наконец, о термическом режиме поверхности планеты — сверхтропическом климате, огромной теплоемкости коры и т. д. Химически агрессивные воды горячего протоокеана, на дне которого в дельтах горячих рек накапливались конгломераты Ранда, повышенные содержания углеводов в воде и атмосфере и другие особенности, связанные с возрастом осадконакопления, и, наконец, огромная длительность процесса накопления осадков (сотни миллионов лет) могут, как нам кажется, объяснить «гидротермальные» признаки парагенезисов минералов, имеющих форму залегания россыпи и огромные запасы металла в месторождении, связанные с длительным и «химическим» его извлечением из окружающих и подстилающих золотоносные конгломераты пород.

Естественно, что среди типов золоторудных месторождений геологи выделяют и «месторождения золотоносных конгломератов типа Ранда». И опять, как и ранее, золотоносные конгломераты самых различных возрастов есть, а вот второго Ранда нет. Однако в данном случае мы, видимо, имеем право говорить уже о закономерном отсутствии подобных Ранду по масштабам золотоносности и особенностям состава более молодых конгломератов. Условия, в которых происходило накопление конгломератов и золота на границе протогея и дейтерогея, действительно более в истории Земли не повторялись.

Таким образом, вулканизм прямо или опосредствованно несомненно сыграл свою роль в особенностях образования этого уникального месторождения.

На этом мы закончим наш очень краткий обзор рудных месторождений, в которых вулканизм играл важную, а иногда определяющую роль. Мы, конечно, не рассказали и самой малой доли того интересного, что связано с рудными богатствами Земли. За рамками рассказа остались и месторождения алмазов, проблема образования которых из ясной «вулканической» перерастает во все более и более сложную.

Однако надеемся, что и приведенных немногочисленных примеров достаточно, чтобы понять, насколько многогранны проявления вулканизма в геологической жизни нашей планеты и как тесно связана с ними история человечества.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО — ОВЕЩЕСТВЛЕННОЕ ВРЕМЯ

Как человек может представить время? Только через изображение последовательности событий. Геологические же, особенно вулканические, события состоят в накоплении вещества, в образовании так называемых вулканогенных формаций, под которыми геологи понимают естественноисторические сообщества тесно связанных друг с другом парагенетически эффузивных (лавовых) эффузивно-осадочных и прорывающих их интрузивных пород. Они характерны для определенных стадий (этапов) геотектонического цикла развития как подвижных поясов, так и конкретных вулканических геоструктур. Вулканогенные формации, последовательно сменяя друг друга во времени и пространстве, составляют геологическое пространство, являющееся овеществленным временем,



Мы уже рассказывали о вулканических поясах, о «неоднородности» геологического времени, проявляющейся в стремительном ускорении геологических процессов — от протогея к новейшему этапу. Следствия этой акселерации многочисленны и важны. Одно из них — это современное образование богатейших рудных месторождений на дне морей и океанов.

Рассмотрим закономерности развития вулканического процесса с точки зрения ускорения «пульса планеты» — скоростей накопления вулканогенных формаций и связанных с ними рудных месторождений в разновозрастных зонах проницаемости земной коры (молодые и древние вулканические пояса).

Тихоокеанский подвижный пояс

Позднемезозойская и кайнозойская геологические истории Тихоокеанского подвижного пояса исключительно богаты проявлениями вулканизма. Можно сказать, что определение «тихоокеанское огненное кольцо», принятое для характеристики современной вулканической активности этой планетарной геоструктуры, в равной мере относится и к плиоценовой и к миоценовой эпохам. Более того, и позднемезозойские геологические процессы носили главным образом вулканический характер. Но в отличие от более поздних эти процессы протекали не в наземных, а в подводных, даже глубоководных условиях, характерных для начальных стадий развития системы молодых вулканических поясов Тихого океана. К числу этих поясов относятся островные дуги западной и юго-западной окраин Тихого океана, а также вулканические пояса Кордильер и Анд в Америке.

В систему островных дуг, окаймляющих Азиатский материк, входят Камчатско-Корякская, Алеутская, Курильская и Японская дуги, составляющие в сумме Охотско-Ниппонский вулканический пояс, а также Маршанская, Филиппинская, Индонезийская и другие структуры, образно называемые «гирляндой островных дуг Юго-Восточной Азии».

Общая особенность перечисленных районов — это определенная синхронность геологических процессов. Например, почти одновременно в западном и восточном секторах Тихоокеанского подвижного пояса происходило

образование глубоководных прогибов, проявление в них подводного вулканизма с формированием соответствующих рудных месторождений. Эти события относятся к позднему мелу — раннему палеогену (100—110 миллионов лет назад).

Одновременным и общим для большинства вулканических поясов Тихого океана является осушение ранних прогибов и поднятие на их месте обширных возвышенностей (около 40 млн. лет назад). Начало миоцена (25 млн. лет назад) по всему тихоокеанскому «огненному кольцу» характеризуется образованием мелководных вторичных прогибов. Осушение этих прогибов происходит также одновременно по всему поясу. На месте вторичных прогибов растут вулканические острова. На эту эпоху приходится формирование многочисленных колчеданно-полиметаллических и золото-серебряных месторождений.

В плиоцене и в четвертичное время, как уже отмечалось, Тихоокеанский подвижный пояс представляет собой «огненное кольцо» с проявлениями интенсивного вулканизма, характерного отчасти для кордильер (т. е. протяженных вулканических хребтов), отчасти для современных вулканических островов.

Интересной особенностью молодых вулканических поясов Тихого океана является резкое ускорение геологических процессов к завершающему этапу. Это очень важная особенность динамики развития не только молодых, но и более древних, как мы увидим далее, вулканических поясов. Она определяет и их **направленное металлогеническое развитие**. Рассмотрим несколько более подробно особенности проявления вулканизма и рудообразования во времени на примерах отдельных вулканических поясов.

Охотско-Японский вулканический пояс развивался в течение 100 миллионов лет. В его пределах выделяются внешние и внутренние дуги. Одна система таких двойных дуг охватывает Сахалин, юго-западную часть острова Хоккайдо и большую часть острова Хонсю, другая включает Большую и Малую Курильскую гряды островов, северо-восточную часть острова Хоккайдо и Камчатку.

Внутренние дуги всех названных систем представляют собой области неогенового вулканизма и рудообразования, тогда как проявление тех же процессов во внешних дугах относится главным образом к позднему мелу — раннему палеогену.

На различных стадиях геологического развития рассматриваемой области формировались особые ассоциации вулканогенных пород, отвечающие по своему объему и содержанию понятию «геологическая формация». Это формации глубоководных прогибов, вулканических островов и вулканических хребтов (кордильер). Для формации глубоководных прогибов характерна ассоциация основных лав подводных вулканов (базальтов) и кремнистых пород. Среди месторождений, образовавшихся на этом этапе развития вулканического пояса, известны колчеданные месторождения типа медистых пиритов — пластовые залежи массивных и вкрапленных меденосных сульфидов, а также высокотемпературные полиметаллические месторождения, образовавшиеся на контакте с глубинными интрузиями магмы.

Характерными породами формации вулканических островов являются туфоконгломераты, лавы андезитового состава и туфы. Образование туфоконгломератов отражает борьбу двух стихий — созидательной деятельности вулканов и разрушительных сил моря, омывающего вулканические острова. В металлогении вулканического пояса этап вулканических островов был одним из самых продуктивных. В это время формировались колчеданно-полиметаллические месторождения типа «куромоно» (Cu, Pb, Zn, Au, Ag), многочисленные, хотя и мелкие золото-серебряные, месторождения ртути и некоторые другие.

Формация вулканических хребтов накапливалась в условиях интенсивного вулканизма и одновременного разрушения (денудации) крупных наземных вулканов, цепь которых слагала вулканический хребет. В пределах отдельных вулканических центров широко проявляются продукты кислого вулканизма. Полезные ископаемые этого этапа жизни вулканического пояса представлены главным образом самородной серой, образующей иногда крупные промышленные скопления.

Средиземноморский подвижный пояс

Балканы и Восточная Европа. Молодые вулканические пояса здесь сложены сравнимыми с тихоокеанскими формациями. Глубоководный прогиб с проявлениями подводного вулканизма прослеживается в плане в виде узкой полосы от города Бургаса через всю территорию Болгарии почти до Софии. Здесь он поворачивает на севе-

ро-запад и продолжается уже на территории Югославии (вулканический массив Тимок). В тектоническом отношении область развития вулканогенных образований позднего мела — палеогена (Суббалканско-Среднегорский вулканический пояс) представляет собою узкий прогиб, располагающийся между двумя крупными жесткими массивами, сложенными древними кристаллическими породами — Мизийской плитой на севере и северо-западе и Македоно-Родопско-Эгейским срединным массивом на юге. Разрез вулканогенной толщи представляет собою переслаивание морских осадков с эффузивами и туфами — продуктами подводных вулканов.

Суббалканско-Среднегорский вулканический пояс известен главным образом как медная рудная провинция. В связи с магматизмом этого пояса здесь сформировались такие крупные медные месторождения, как Бор и Майданпек в Восточной Сербии и месторождения Софийского района в Болгарии. Кроме того, для пояса характерно молибденовое оруденение.

Миоценовые вулканогенные формации Трансильвании и Среднесловацкого вулканического пояса — это формации вулканических островов. Только омывались они не Тихим океаном, а мелководным Сарматским морем. И опять, как и в Тихоокеанском подвижном поясе, вулканические пояса этого времени удивительно продуктивны в металлогеническом отношении. Мы уже рассказывали о молодых золото-серебряных месторождениях Трансильвании. Системы третичных бассейнов осадконакопления и вулканизма, куда входят крупнейшие месторождения Сэкэрымб, Брад и другие, — это регионы преимущественного развития третичного вулканизма и рудообразования. Кроме золотых месторождений, с проявлениями третичного вулканизма вулканических островов в Сарматском море связывают месторождения ртути.

Восточные Карпаты. Карпатский глубоководный прогиб с подводными вулканами также сформировался в позднем мелу между двумя крупными жесткими элементами земной коры — Русской платформой на востоке и Папнонским (Венгерским) массивом на западе. Развитие этого прогиба сменилось образованием островной вулканической дуги. Это событие также произошло в сармате. Область проявления неогенового вулканизма советского Закарпатья и округа Байя-Маре в Социалистической Рес-

публике Румынии — замечательные рудные районы с месторождениями свинца, цинка, золота, серебра и ртути. Это протяженные (до 2000 м), мощные (до 20 метров) и глубоко уходящие жилы с нитевидным золотом, серебро-содержащим галенитом, минералами серебра и т. д.

Малая Азия и Малый Кавказ. Вулканические пояса этих областей особенно интересны для нас. В первой главе мы рассказывали о том, что именно они были источником рудного сырья для развития древних цивилизаций Египта и Месопотамии (Двуречья).

Одним из вулканических поясов являются Восточные Понтиды. Многие исследователи подчеркивают сходство этого пояса с Суббалканско-Среднегорским. Здесь в позднем мелу также существовал глубоководный прогиб с многочисленными подводными вулканами. Продуктами этих вулканов восточнее Самсуна сложены все горные сооружения, вытянутые вдоль южного берега Черного моря вплоть до советско-турецкой границы и в советской Аджаро-Триалетской области. Вулканогенные породы в ассоциации с рифовыми известняками почти непрерывно прослеживаются бурением из Суббалканского вулканического пояса вдоль Черноморского побережья. Наибольшей мощности (до 1000 м) продукты подводного вулканизма достигают в районе медных месторождений, указывая на их связь с ~~подводным вулканизмом~~.

Среди месторождений Восточных Понтид¹ выделяются высокотемпературные медно-магнетитовые (в контакте магматических пород и рифовых известняков) месторождения медистых пиритов, содержащие также халькопирит, сфалерит, галенит и полиметаллические месторождения меди, свинца и цинка. Наиболее типичными месторождениями как раз являются близповерхностные месторождения Мургул, Куварс-Хана, Израиль, Кара-Эрик и многие другие, снабжавшие рудами древних египтян. Мощность пластовых месторождений достигает 100 метров, протяженность — 200 метров. В них наблюдались «столбы» массивной руды глубиной до 100 метров при диаметре 15 метров. Аналогичные месторождения, но более молодые, связанные с вулканическими островами, развиты на продолжении Понтид в СССР в Аджаро-Триалетии.

¹ Напомним, что древнее название Черного моря — Понт Эвксинский.

Древнейшим (в историческом смысле) вулканическим рудным районом Малого Кавказа является и Мисхано-Запгезурский медно-молибденовый район, представляющий собой западное продолжение вулканического пояса Эльбрус. Аналогичные вулканизм и металлогения характерны для Малого Кавказа и в более древние геологические эпохи. Не случайно этот район был эпицентром развития материальных культур многие тысячелетия.

Кафанский рудный район — это наиболее южное звено знаменитого Алаверди-Кафанского вулканогенно-рудного пояса, возраст которого 170 миллионов лет. В это время здесь также существовал глубоководный прогиб с подводными вулканами и вулканическими островами. Оруденение медно-колчеданного типа на Кафанском месторождении относится к жильному и прожилково-вкрапленному типу. Для Алавердского рудного района (месторождения Ахтала, Алаверди, Шамлуг) характерны такие же по возрасту медные и свинцово-цинковые руды.

В заключение обзора вулканизма и вулканических месторождений Малого Кавказа остановимся на меловом по возрасту **Сомхитско-Карабахском вулканогенно-рудном поясе.**

Рудные тела баритово-свинцово-цинкового месторождения Мадисули в Болинском районе, очень известном древнейшей горнорудной промышленностью, залегают также в морских вулканитах. По геологической позиции, форме рудных тел, составу руд и многим другим признакам это месторождение является полным аналогом тихоокеанских баритово-полиметаллических месторождений «куромоно» (в Японии) и древних палеозойских месторождений Алтая и Казахстана, о которых мы расскажем ниже.

Урало-Тяньшанский подвижный пояс

В Урало-Тяньшанском подвижном поясе, столь же протяженном и мощном, как Тихоокеанский и Средиземноморский, вулканизм проявлялся на протяжении сотен миллионов лет. В его пределах выделяются области средне- и позднепалеозойского вулканизма — «герциниды» и области ранне- и среднепалеозойской вулканической активности — «каледониды».

Продолжая опускаться «в глубь времени» и одновременно вниз по геологическому разрезу, рассмотрим последовательно вулканизм «герцинид» на примере **Джунгаро-Балханской области** и «каледонид» с тем, чтобы показать однотипность его проявления в этих разновозрастных областях и одинаковость следствий этого — рудных месторождений.

Глубоководный вулканизм проявился в рассматриваемой области «герцинид» довольно вяло. Вулканогенные формации этого типа представлены кремнисто-диабазовыми образованиями силурийского возраста. Вулканизм вулканических островов проявился уже в девоне и раннем карбоне. Как и во многих вулканических поясах, прошедших в своем развитии стадию островных вулканических дуг, завершается ранний цикл вулканизма накоплением вулканических продуктов деятельности наземных вулканов в пределах вулканических кордильер (в конце нижнего карбона).

Перед средним карбоном глыбовые движения в этой горной стране привели к мощной денудации рельефа. Образовалась выровненная поверхность, на которой в позднем карбоне и перми накапливались продукты кислого вулканизма, приуроченного к целому ряду самостоятельных эруптивных центров. Рудная специализация отдельных стадий герцинского вулканизма в **Джунгаро-Балхашской области** в значительной мере аналогична таковой в более молодых геологических областях.

Начальные стадии вулканизма сопровождаются образованием медно-колчеданных месторождений. С фаментурнейскими островными вулканами связаны штокверковые полиметаллические месторождения свинца и цинка. Раннекарбоновыми по возрасту являются и многочисленные месторождения свинца и цинка в известняках и сланцах Северного Прибалхашья. Будучи связаны с проявлениями постмагматической деятельности турнейского вулканизма, эти месторождения концентрировались в песчаниках, туффитах, известняках и сланцах, представляющих собою более благоприятную для замещения рудными минералами среду. Есть основания предполагать, что с раннекаменноугольным вулканизмом связаны и крупные золотые и золото-серебряные месторождения, а с заключительными стадиями позднепалеозойского вулканизма и вообще магматизма — редкометалльное (молибден, вольфрам, бериллий) оруденение.

Каледонский вулканический цикл и связанное с ним рудообразование мы рассмотрим на примере Северного Казахстана. В каледонской зоне Казахстана также выделяется направленный ряд вулканогенных формаций, последовательно и закономерно сменяющих одна другую во времени и пространстве. Начинается история древнейшего палеозойского вулканизма с деятельности глубоководных вулканов в нижнем — среднем кембрии (450—570 млн. лет назад). Продукты вулканизма имеют состав базальтов. После перерыва вулканизм возобновляется в позднем кембрии — тремадоке (420—440 млн. лет назад). Протекает он уже в условиях вулканических островов. Условия образования казахстанских Торткудукских (местное название) вулканитов аналогичны условиям накопления миоценовых туфоконгломератов, лав и туфов тихоокеанских вулканических островов, позднемеловых вулканитов Малого Кавказа и целого ряда других областей. Дальнейшая деятельность и рост вулканов в силуре приводит к росту на месте вулканических островов вулканического хребта — кордильеры, сравнимой с кордильерами молодых вулканических областей.

Геологи делают вывод о том, что вулканогенные формации Северного Казахстана представляют собою формации вулканических поясов, прошедших в своем развитии стадию островных вулканических дуг.

Обращает на себя внимание значительное сходство рудных месторождений древних и молодых островных дуг. На ранних стадиях в связи с вулканизмом и магматизмом кембрия образуются прожилково-вкрапленные руды, медные и медно-молибденовые. Для островного андезитового вулканизма характерны колчеданные баритово-полиметаллические руды. В аналогичной геологической позиции находятся и золоторудные месторождения древнего Казахстана и молодых Камчатки, Японии, Трансильвании и других районов. К одним и тем же продуктам островного вулканизма относятся медно-цеолитовые руды Казахстана и Командорских островов.

Рассказывая о допалеозойских областях проявления вулканизма, мы уже говорили о том, что реставрация направленного ряда вулканогенных формаций (т. е. последовательности вулканических событий в таких областях) весьма затруднительна. Укажем, однако, на тот факт, что в древнейших вулканических поясах известны рудные месторождения, весьма сходные с их более молодыми

аналогами. Таковы колчеданное месторождение Флин-Флоп в Канаде, золоторудные месторождения в Северо-Западном Онтарио и другие золоторудные месторождения Канадского щита.

До сих пор мы рассказывали о сходстве проявления процессов вулканизма и связанного с ними рудообразования на всех этапах геологической истории Земли. Однако выше мы указывали, что скорости протекания этих процессов неуклонно возрастают от протогей доныне. Это не могло не найти отражения в особенностях разновозрастных геологических образований (хотя бы и однотипных), связанных с явлениями необратимости геологического развития планеты.

В связи со сказанным рассмотрим некоторые геодинамические аспекты развития Земли как планеты и попытаемся показать наличие принципов геодинамического соответствия возраста и глубинности в вулканических, плутонических, метаморфических и рудообразующих процессах. Одновременно покажем, что современные вулканы являются не только величественными феноменами природы, но и своеобразными указателями, признаками геологически более древних рудных районов. Это свойство современных вулканов уже сегодня может быть использовано при промышленном геолого-экономическом районировании областей проявления вулканизма.

Анализируя тектоно-магматическую историю развития подвижных зон земной коры, отдельных складчатых областей и долгоживущих центров тектоно-магматической активности, исследователи давно пришли к представлению о направленности и необратимости этого развития. На уровне познания истории формирования геоболочек планеты также предполагается многократное направленное повторение тектоно-магматических процессов в истории Земли, хотя в этом случае некоторые исследователи допускают и явления обратимости. Правда, в последние годы наметилась тенденция к пересмотру принципов исторической направленности тектоно-магматической эволюции и объяснения формационных различий с позиций неоднородности среды, в которой протекает тектоно-магматический процесс в различных по положению участках одновременно развивающейся подвижной области. Действительно, нередко наблюдается, что геологические формации, свойственные определенному историческому этапу развития подвижных областей, развиваются в участках

земной коры, находящихся, в смысле истории развития, на другом этапе. Примеры такого рода описаны многими исследователями.

Очень важно отметить, что эти примеры отклонения от «историчности» тектоно-магматической эволюции совсем не отрицают ее общности. Более того, эти явления свидетельствуют о том, что факторы, контролирующие направленность развития и формационный состав парagenераций, зависят от состояния среды и являются функцией этого состояния. Для определения состояния среды исследователи уже длительное время пользуются набором самых разнообразных терминов, содержащих признаки его проявления в различных сторонах процесса развития.

В процессе складчатости различаются разновидности альпинотипные и гермапотипные, напряженные, блоковые и многие другие. Даже в тех случаях, когда исследователь хочет подчеркнуть конечные результаты складкообразовательного процесса, выделяя, например, брахиформную складчатость, он относит время проявления этой складчатости к определенному этапу развития складчатой области.

Среди зон дизъюнктивных нарушений различаются менее проницаемые и более проницаемые, более «тектонически проработанные» и «менее проработанные», характеризующиеся состоянием растяжения или сжатия, глубинного заложения или малоглубинные, что, в свою очередь, зависит от степени жесткости и консолидированности среды заложения и т. д. Не только по морфологии и соотношению разделяемых толщ, но и по состоянию напряжений в среде выделяются зоны шарьяжей. Примеры попыток определения (явных или подразумеваемых) состояния среды при тектоническом анализе можно умножить.

Исследователи-петрологи широко пользуются понятием фаций глубинности процесса магматического или метаморфического. При этом под фациями глубинности ими понимаются прежде всего условия, в которых протекает процесс, или, другими словами, опять-таки состояние среды (или в среде) магнеообразования, становления интрузивных (точнее, плутонических) тел, метаморфизма. Эти условия, определяемые давлением, температурой и концентрацией подвижных компонентов, являются функцией не столько самой глубины, сколько состояния (проницаемости, проводимости) среды. Хотя сразу же следует

подчеркнуть, что именно степень вероятности развертывания направленности процесса в природе по глубине и определила сложившийся подход к анализу процесса (состояние меняется в первую очередь в зависимости от глубины). Отметим здесь же, что указанные выше случаи смены условий «глубинности» не в историческом плане и по глубине, а по простираию особенно ярко подчеркивают необходимость выявления и анализа «фактора состояния». Укажем также, что именно состояние среды, ее анизотропия определяет не только морфологические, но и генетические черты плутонического процесса. Геологический рудники в поисках определенной генетической систематики месторождений, отражающей условия их формирования, как известно, со времен В. Линдгрена пользуются понятиями гипо-, мезо-, эпитермальных условий, включающих те же параметры состояния среды (P , T , C), что и у петрологов.

В самое последнее время такой подход к анализу объектов по условиям их формирования и состояния (P , T , C) среды паметился и у исследователей, занимающихся проблемами гидрогеотермии. Ими выделяются по этим признакам гипо-, мезо- и эпигидротермальные системы. При этом параметр C понимается как плотность теплоносителя при конвективном тепло- массопереносе. Близость подхода к анализу условий состояния среды при этом такова, что в зависимости от степени «открытости» или «закрытости» гидротермальных систем эти исследователи предполагают возможность плавления и магмообразования в недрах этих систем.

Для среды, в которой протекает или через которую реализуется тот или иной геологический процесс, употребляются определения «жесткая», «консолидированная», «пластичная», «компетентная» и другие. Сами структурные элементы земной коры выделяются на всех уровнях исследования именно по состоянию среды, степени ее консолидированности, пластичности или пропизцаемости. По этим признакам выделяются щиты, платформы, подвижные пояса, складчатые области и структурно-формационные зоны в них, рифты, зоны активизации, срединные массивы. Делаются также попытки связать эндогенные процессы и состояния среды их реализации (состав рудных месторождений с близостью жесткого фундамента складчатых областей, найти особенности в металлогении срединных массивов).

Отражением этого направления научных поисков является попытка систематики структур месторождений по этапам их формирования в земной коре.

Таким образом, эндогенные процессы в земной коре или, еще шире, в Земле в целом (такой подход правомерен, ибо и планетологи и геофизики оперируют понятиями состояния вещества в геооболочках) управляются определенным соотношением сил (динамических, гравитационных, молекулярных, атомных), которое в целом можно определить как **геодинамическое состояние**.

Условимся в дальнейшем называть геодинамическим состоянием блока земной коры, или геооболочки, то соотношение напряжений, которое характерно для конкретного этапа развития Земли, геооболочки подвижной зоны, складчатой области, структурно-формационной зоны или долгоживущего центра тектоно-магматической активности. Тогда соотношение типов эндогенных процессов и их продуктов для каждого этапа развития геооболочки или геоблока, а также на различных по положению в пространстве участках однотипных геооболочек и геоблоков можно выразить через понятие **геодинамического соответствия**. При этом можно определить не только качественную, но и количественную сторону такого соответствия, которая может быть выражена определенным коэффициентом. Заранее можно сказать, например, что низкий коэффициент геодинамического соответствия свидетельствует об аномальных, сравнительно с фоновыми, свойствах среды в участке несоответствия (повышенная проницаемость, резкая анизотропия физических свойств, гетерогенность основания и т. д.). Таким образом, низкий коэффициент геодинамического соответствия отражает пространственные особенности проявления эндогенных процессов.

Для явлений постмагматического регионального и локального метаморфизма их соответствие общему геодинамическому состоянию среды устанавливается весьма отчетливо даже в тех случаях, когда среди фоновых метаморфических изменений наблюдаются «горячие пятна». Коэффициент геодинамического соответствия меняется в сторону его уменьшения в области «горячих пятен». Обращает на себя внимание также следующая особенность регионального метаморфизма. Степень региональности метаморфизма возрастает с глубиной, так как в глубинных сечениях орогенических поясов нет резких измене-

ний физических условий на больших пространствах, и большие массы пород находятся в одинаковой термодинамической обстановке. Однако во всех случаях более глубокий метаморфизм, более региональный был и более древним. В этой связи однородность физических условий, одинаковость термодинамической обстановки, в которой находится большая масса пород, проявляется уже как функция возраста (т. е. геодинамического состояния среды на определенном этапе орогенического развития).

Поскольку степень региональности метаморфизма ограничивается зоной орогенеза и поскольку в более древних орогенах степень региональности метаморфизма для однотипных этапов развития большая, можно утверждать, что переменной величиной в этом изменении является геотермический градиент. Повышенная плотность регионального теплового потока и аномальные потоки тепла (а зоны орогенеза — это области аномального теплового питания) требуют, согласно многочисленным расчетам, конвективного тепло-массопереноса. Отсюда следует, что фактором регионального метаморфизма является интрателлурический поток, имеющий различную форму и плотность на разных этапах тектонического развития. Тектоника, таким образом, определяет только геодинамическое состояние среды, т. е. форму проявления регионального метаморфизма.

Анализ индивидуальных особенностей геологических формаций с позиций геодинамического соответствия форм проявления эндогенных процессов этапу тектоно-магматического развития показывает, однако, на наличие еще более общей закономерности геодинамического соответствия, нежели на уровне одного макрочрона (т. е. времени развития одного тектоно-магматического цикла «элементарной» складчатой области). Эта закономерность проявляется на уровне сравнения мегахронов — протогей, дейтерогей, фанерозоя и новейшего этана.

Изменение геодинамического соответствия на уровне мегахронов проявляется для отдельных сторон эндогенного процесса в следующем.

Вулканизм. По подсчетам исследователей, площади, занятые эффузивами, составляют для допалеозоя 112 тысяч квадратных километров, фанерозоя — 549 тысяч квадратных километров, кайнозоя — 1107 тысяч квадратных километров. Если считать, что эти площади про-

порциопальпы объемам излившегося материала (даже без учета продуктов современного вулканизма лавы океанов), то исключительно ярко выступает уже упоминавшаяся общепланетарная тенденция к усилению «эффузивности» эндогенного магматического процесса от начала геологической истории планеты к современной геологической эпохе.

Плутонизм. По контрасту с вулканизмом, наоборот, допалеозойские интрузивные «плутоны» по своим объемам и количеству их самих на порядок превосходят геологические фанерозойские и тем более кайнозойские образования. Формирующиеся в конце протогей гранитные плутоны охватывают площади в несколько тысяч квадратных километров, сравнительно с «точечными интрузивными проколами» в единицы и десятки квадратных километров в кайнозое.

Метаморфизм. В подвижных областях в протогее при высокой энергонасыщенности земной коры метаморфизм протекал с большой интенсивностью даже у поверхности и проявлялся в широком региональном масштабе. Геотермический градиент был в 5—6 раз выше современного. В фанерозое, а тем более в кайнозое метаморфизм из регионального перерождается в локальный, приуроченный к зонам повышенной проницаемости земной коры. В этой связи огромный интерес представляют новейшие данные о масштабах поствулканической гидротермальной деятельности протогей и дейтерогей.

«Точечным проколам» современных фумарольных полей с выносом микрокомпонентов и породообразующих элементов, например FeO и SiO_2 , в протогее и дейтерогее соответствуют огромные площади и масштабы выноса тех же компонентов. Перевод Fe из растворимой формы в нерастворимую при окислении приводит к формированию «планетарных» месторождений железистых кварцитов. Масштаб выноса других металлов на поверхность коры таков, что многие геологи-рудники, стоящие на позициях метаморфогенного рудообразования, недоумевают, зачем для формирования эндогенных месторождений нужно «предполагать» глубинный мантийный источник, когда металлы «в достаточных количествах» содержатся в коре и нужен только метаморфизм, чтобы их переконцентрировать в месторождения.

Рудообразование. Все черты геодинамического соответствия возраста и глубинности и связанных с ними

масштабных, структурных, вещественных и т. д. признаков несет и рудообразование. Достаточно напомнить не повторявшиеся позже золоторудные месторождения дейтерогей Иеллоунайф, Колар, конгломераты Витватерсранда, образовавшиеся за счет размыва подобных по масштабам и за огромное время перемыва месторождений; промежуточные по масштабам и примерно одинаковые по типу гипомезотермальные золоторудные месторождения фанерозоя, эпитермальные, так пазываемые «вулканогенные» месторождения кайнозоя, характеризующиеся приповерхностными условиями образования, малыми запасами, паличием бананц, сложностью морфологии, приуроченностью к «вулcano-структурам».

Направленное изменение геодинамических состояний и адекватное им геодинамическое соответствие вулканических, плутонических, метаморфических и рудообразующих процессов, как в рамках макронов, в общем случае выражается (или может быть выражено) через изменение параметров P , T и C . Однако если изменения P и T в настоящее время могут быть выведены из существующих термических и динамических моделей Земли, то изменение параметра C , подразумевающего плотность и состав интрателлурического потока (дискретного в силу пульсационности геологического процесса), требует с излагаемых позиций особого рассмотрения; которое приводит нас к тем же принципам геодинамического соответствия возраста и глубинности эндогенных процессов, по уже на уровне формирования геооболочек планеты.

В настоящее время в составе интрателлурического потока предполагается наличие Na_2O , K_2O , H_2O . Еще В. И. Вернадский предсказывал возможную огромную роль в глубинах Земли водорода, который, таким образом, также должен быть включен в состав интрателлурического потока. С точки зрения режима водорода в истории формирования геооболочек весьма показательными являются превращения ультраосновных и основных включений глубинных пород, выносимых на поверхность коры в современном вулканическом процессе.

Ультраосновные и основные включения характеризуются миперальными парагенезисами, характерными, судя по экспериментальным данным, для условий весьма высоких температур и давлений. Среди включений отчетливо выделяются два класса — ультраосновные (или ги-

пербазитовые) и габброидные (или базитовые). Первый характеризуется парагенезисом оливина и пироксена. Наблюдаются постепенные переходы от существенно оливиновых пород к пироксенитам. Согласно экспериментальным исследованиям, температура и давление, при которых такой парагенезис устойчив, отвечают глубинам ~ 70—80 километров.

Большинство гипербазитовых включений имеет реакционную кайму, сложенную амфиболом, который образует кристаллы часто размером до 15 сантиметров. В ядрах таких кристаллов наблюдаются реликты перидотитовых включений в виде шарообразных скоплений зерен оливина и пироксена. Одновременно с амфиболом образуется магнетит. В дальнейшем такие реакционные амфиболы замещаются габброидной ассоциацией минералов, в которой магнетит присутствует неизменно. Первичная амфиболизация гипербазитов, таким образом, является промежуточным звеном в преобразовании ультраосновных глубинных пород в габброидные.

Габброидные включения (второй класс), отражающие дальнейшую эволюцию превращения вещества мантии, распространены гораздо шире гипербазитовых. Экспериментальное воспроизведение условий их образования показывает, что они соответствуют глубинам 40 километров. Для континентов и зоны перехода к океану эти глубины соответствуют уровню Мохо¹ и образованию «нижней коры».

Особый интерес представляет тот уровень геоболожек, для которого характерны реакции превращений перидотитов с образованием амфибола и магнетита, т. е. граница нижней коры и верхней мантии (М). С точки зрения экспериментов Е. Осборна, появление и устойчивость магнетита свидетельствуют об увеличении парциального давления кислорода. Таким образом, характерное для интрателлурического потока на уровне мантии доминирование водорода сменяется на границе М увеличением активности кислорода с прохождением окислительных реакций экзотермического характера. За счет энергии

¹ При переходе от земной коры к мантии происходит скачкообразное изменение скорости распространения продольных волн. Эта сейсмическая граница, получившая название раздела Мохорoviчица (или коротко — Мохо, или М) была открыта в 1909 г. югославским сейсмологом Мохоровичичем.

окисления силана и других гидридов с образованием эквимолекулярных количеств воды происходит расплавление силикатной массы с образованием магматического очага.

Последующая реакция гидридов с кислородом земной коры усиливает экзотермический эффект на границе М и, по-видимому, является одним из главных факторов, обеспечивающих как региональный тепловой поток, так и аномальные потоки тепла в зонах трансмантийных разломов. Поверхность М, таким образом, есть не столько устойчивая граница между геоблочками, сколько «реакционный слой» очаговой природы. Уровень его залегания зависит от проницаемости земной коры на данном участке для трансмантийного интрателлурического потока. Возраст очагов, существующих на границе Мохоровичича, должен отвечать возрасту начала формирования коры — 3,5 миллиарда лет. В зонах долгоживущих планетарных геоструктур — подвижных поясов — магматические очаги на уровне М должны существовать и в настоящее время.

Поступление через верхнюю границу очага Мохо потока летучих в более верхние горизонты коры приводит не только к наращиванию коры, но и к ее дифференциации, фиксируемой границей Конрада. Какова природа этой границы и почему она обладает еще меньшей сплошностью, чем граница Мохо? При высоких температурах и давлениях вода чрезвычайно агрессивна по отношению к силикатам. Она активно реагирует с ними, при этом происходят вторичный разогрев и плавление с парагенетическим образованием рудного флюида. Таким образом, очаги границы Конрада — это аналоги более глубоких и более древних очагов типа Мохо.

Поступление интрателлурического потока в долгоживущих подвижных областях — процесс, достаточно стабилизированный, можно предполагать, что и существование очагов на границе Конрада, хотя и более локальных, может иметь место и в настоящее время. Однако возраст заложения этих очагов должен быть близок к возрасту самых древних гранитов Земли.

Дальнейшая эволюция интрателлурического потока и продуктов его реакций с окружающими породами — это уже эволюция «эндогенного флюида», «эндогенного пара», насыщенного заимствованными и интрателлурическими элементами. На глубинах 5—8 километров, доступных

для циркуляции атмосферных вод, особенно в зонах повышенной проницаемости и проводимости, какими являются вулcano-тектонические структуры, происходит третья (считая от Мохо) серия экзотермических реакций, по существу, аналогичная приведенным ранее.

Таким образом, формирование так называемых «периферических очагов» под вулканами является дальнейшим закономерным развитием процесса, развернутого последовательно во времени и по глубине. Такие очаги являются обязательным элементом глубинного строения высокотемпературных гидротермальных систем вулканических районов. Тепловые параметры генерирующегося одновременно с расплавом «флюида» отвечают условиям существования гранитоидного расплава, т. е. между магматическими и гидротермальными системами в области существования периферических очагов, возможно, нет резкой границы.

Возраст периферических магматических очагов близок (или древнее) возрасту начальных этапов вулканизма (это возраст складчатости). В силу анатектоидной природы таких очагов состав их может колебаться в широких пределах, однако общей является тенденция к накоплению кислого силикатного материала и выделение летучих, обогащенных так называемой «ювенильной составляющей» (в том числе и мантийными металлами), формирующих у поверхности Земли уже упоминавшиеся в начале работы современные высокотемпературные гидротермальные системы.

Мы видим, таким образом, что и на уровне формирования геоболочек принципы геодинамического соответствия вулканических, plutонических, метаморфических и рудообразующих процессов проявляются достаточно четко. Наиболее «глубинные» условия и продукты наиболее «глубинных» реакций это одновременно и более древние условия и продукты.

Остановимся в заключение на некоторых общих следствиях геодинамического подхода к анализу эндогенных явлений.

Плотность энергетического потока, необходимого для формирования расплавления, с омоложением очага и уменьшением глубины его заложения должна быть больше, чем в более древних и глубинных условиях (что отвечает падению энергонасыщенности коры от протогея доныне). Максимальная плотность («плотность в точке») характерна для современных лавовых озер. Обратное ло-

гическое следствие — изменение геометрии (т. е. плотности) потока энергии с глубиной и вниз по ординате времени. Сечение такого потока может быть выражено треугольником, древнее «размытое» основание которого представлено наиболее ранними и глубинными из возможных очагов. Может быть, это очаги-аномалии, фиксируемые глубинным магнитотеллурическим зондированием, отвечающие по возрасту времени достижения планетным веществом некоторой критической плотности.

Мы кратко рассказали о некоторых особенностях вулканического процесса, о том, как в течение огромного геологического времени формировалось геологическое пространство, о ведущей роли при этом глубинных вулканических процессов. На нескольких примерах мы показали закономерную направленность вулканического процесса в пределах линейных зон пропиецаемости в земной коре, вдоль которых образуются вулканические пояса. Однако длительный направленно приближающийся к поверхности Земли магматический процесс характерен не только для планетарных вулканических поясов. Внутри этих поясов выделяются отдельные активные центры, в которых процесс эндогенного тепло- и массопереноса, глубинного магматизма, рудообразования и вулканизма проявляется многие миллионы лет. Эти центры наблюдаются в древних и в молодых вулканических поясах. Исследования в пределах «тихоокеанского огненного кольца» позволили установить, что завершается геологическое развитие таких «долгоживущих центров» формированием на современном этапе их развития действующих вулканов.

Вулканы, таким образом, предстают перед нами не только как интереснейший феномен природы, но и важный индикатор рудных районов. «Ниже» многих знаменитых вулканов залегают более древние рудные месторождения. Таков, например, вулкан Фудзи в Японии, «под которым» залегают миоценовые золото-серебряные месторождения полуострова Идзу, Комагатаке, Дайсетсу, Кучаро, контролирующие рудные миоценовые округа Кономай, Тайхо, Итомука с рудами свинца, цинка, золота, серебра и ртути. На Камчатке таковы вулканы Ичинский, Алсей-Чаппакоджа, Мутновский и многие другие. Они завершают развитие рудных центров, в которых в сравнительно недавнем геологическом прошлом (в миоцене) также формировались полиметаллические и золото-серебряные

руды. Изучение современной вулканической активности помогает геолого-экономическому районированию областей вулканизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы начали эту книгу с краткого рассказа о тесной связи **судеб человечества с вулканизмом** в различных формах его проявления, рассказали о богатстве Земли, обусловленном вулканогенным рудообразованием, и, наконец, о том, что вулканы могут быть использованы в народном хозяйстве для развития рудной сырьевой базы, даже если не касаться возможности использования их тепловой мощности. За 3,5 миллиарда лет вулканической истории Земли природа создала неисчерпаемые богатства.

Однако стало уже непреложной истиной, что количество легко открываемых (т. е. «выходящих на поверхность Земли») месторождений руд неуклонно сокращается. Человечество за тысячи лет своего развития резко уменьшило запасы вулканических и других руд, хотя и познало лишь топчайшую оболочку земной коры. Проникновение в глубь Земли связано с огромными техническими трудностями и экономическими затратами. Это, во-первых. Во-вторых, современная индустрия все в больших масштабах требует металлов и сырья, из которого их добывают.

Планомерное и плановое развитие социалистической экономики исключает хищнические капиталистические способы «выхватывания» только самых богатых бананов в месторождениях любых металлов (не только драгоценных). Вокруг месторождений и сейчас растут города, развивается народное хозяйство. Однако одновременно в мире растут технологические возможности освоения более бедных руд, менее крупных месторождений. И вот в сферу интересов человека попали хотя и богатые, но мелкие, трудноразведываемые вулканические золото-серебряные месторождения, добыча золота на которых крупной государственной промышленностью еще недавно (до истощения богатых россыпей) считалась нерентабельной. Теперь не так! На поисках и введении в эксплуатацию таких месторождений сосредоточено большое внимание. Более того, в США предпринята геологическая ревизия всех ранее обрабатывавшихся и считавшихся истощенными

месторождений этого типа. И многие из них вновь стали давать прибыли.

В нашей стране сохраняют свое значение и старые горнорудные районы — Урал, Алтай, Казахстан, Средняя Азия, Кавказ. Все более осваивается и открывает свои богатства Дальний Восток и Северо-Восток СССР. Изучая районы, окружающие уже эксплуатирующиеся рудники, геологи «приращивают» запасы металлов, удовлетворяя на них спрос в промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования. Отв. редактор Г. М. Бласов. М., «Наука», 1971.

Заварицкий А. П. Колчеданные месторождения Блявы на Южном Урале и колчеданные залежи Урала вообще. Тр. ГИН АН СССР, т. 5, 1936.

Зеленов К. К. Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. М., «Наука», 1972.

Киношита Кэмэки. О генезисе месторождений Куромоно. Пер. с яп. под ред. А. Н. Заварицкого. М.—Л., Цветметиздат, 1932.

Котляр В. Н. Основы теории рудообразования. М., «Недра», 1970.

Лучицкий И. В. Основы палеовулканологии. М., «Наука», 1971.

Ритман А. Вулканы и их деятельность. М., «Мир», 1964.
Вулканизм и рудообразование (Сборник статей). Под редакцией Тацуо Тацуми. Пер. с англ. Под ред. акад. В. И. Смирнова. М., «Мир», 1973.

Смирнов В. И. Конвергентность колчеданных месторождений.— «Вестник МГУ», 1960, № 2.

Уайт Д. Термальные источники и эпitherмальные рудные месторождения.— В сб.: «Геохимия современных поствулканических процессов». М., «Мир», 1965.

Устиев Е. К. Основные проблемы изучения вулcano-плутонических формаций и связанных с ними рудных месторождений.— В сб.: «Вулканические и вулcano-плутонические формации». М., «Наука», 1966.

Яковлев Г. Ф. О генезисе и возрасте алтайских полиметаллических месторождений.— «Вестник МГУ», 1972, № 2, сер. геол.

Яковлев Г. Ф. Вулканогенные формации колчеданных районов.— В кн.: «Основные принципы и методика составления прогнозиометаллогенических карт рудных районов в палеовулканических областях». М. «Недра», 1972.

Содержание

Введение	8
Глава I. Человек и вулканы	5
Глава II. Вулканические пояса	16
Глава III. Вторая составляющая	31
Глава IV. Все «золото» мира	48
Глава V. Геологическое пространство — ове- щенное время	74
Заключение	94
Литература	95

Михаил Михайлович Василевский

РОЖДЕННЫЕ В ОГНЕ

Редактор *Н. Феоктистова.*

Фотографии *И. Вайнштейна.*

Художник *И. Огурцов.*

Худож. редактор *Т. Добровольнова.*

Техн. редактор *Т. Айдарханова.*

Корректор *Т. Дорогова.*

А 05856. Индекс заказа 56709. Сдано в набор 25/IX-75 г.
Подписано к печати 20/II-76 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂.
Бумага типографская № 1. Бум. л. 1,5+0,5 вкл. Печ. л.
3+1 л. вкл. Усл. печ. л. 5,04+1,68 вкл. Уч. изд. л. 5,32+
+1,90 вкл. Тираж 57 000 экз. Издательство «Знание». 101835.
Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 5—2429. Цена
38 коп.

Головное предприятие республиканского производственного
объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев,
ул. Довженко, 3.



В Петропавловске-на-Камчатке находится единственный в мире
Институт вулканологии
Место работы — вулкан Карымский



К месту работы на вулканические Командорские острова можно
попасть и так
Прорыв газов в вулканическом канале — вулкан Алайд, 1972 год
(фото Н. Смелова)



Прорыв газов в вулканическом канале — Ключевской вулкан, 1974 год



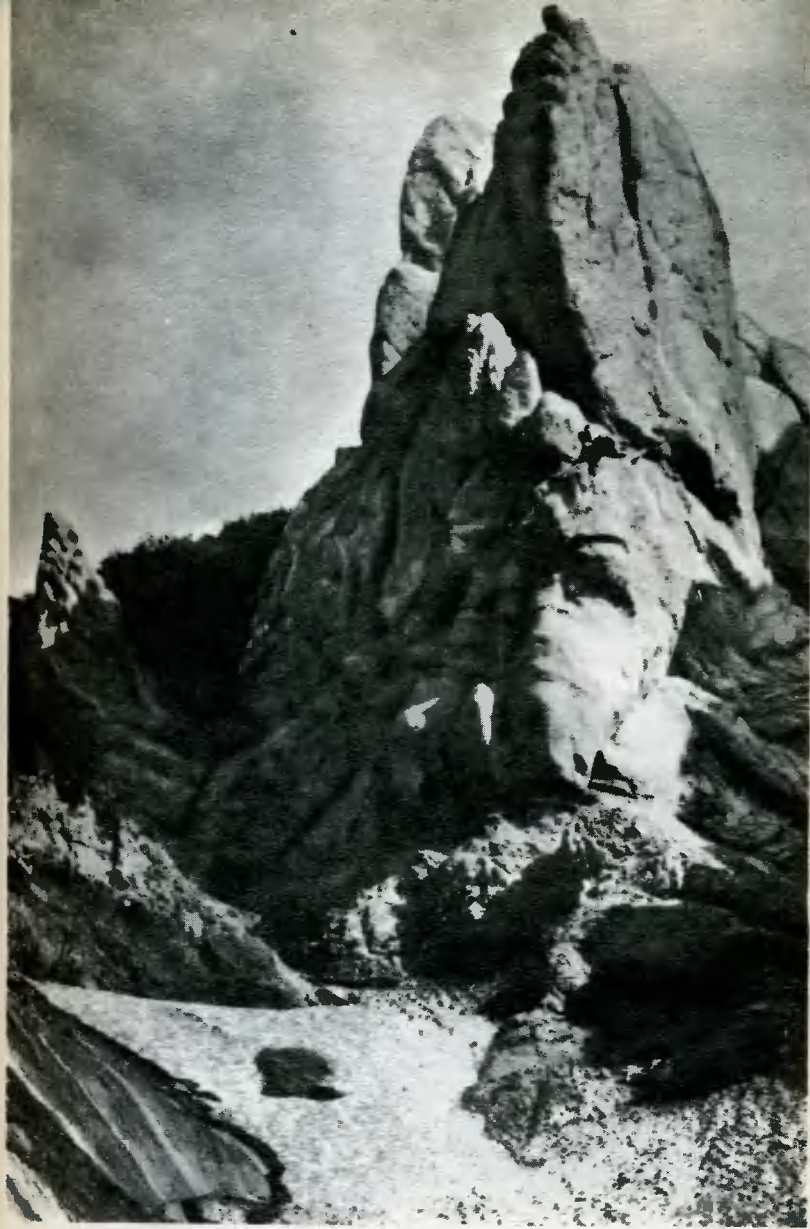
Новорожденная земл



Весна и рододендроны на Камчатке.



Вулканический ландшафт:
а) вдали вулканы Кроноцкий и Крaшeнинникова, б) вулкан Б. Се-
мячик, в) вулкан Корякский



Вулканические идолы
(фото Н. Смелова)



Вулканы Б. и М. Удины
(фото Н. Смелова)

На Командорских островах есть базальтовая «плотина гигантов»



Ключевский вулкан
Сомма вулкана Авачинского



Вдали Корякский вулкан



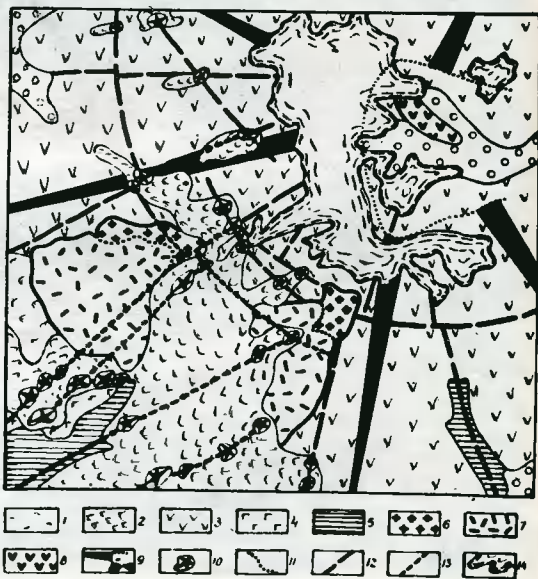
Подводные океанические хребты опоясывают нашу планету



Линейная цепочка днатрем (воронок взрыва) в кальдере вулкана
Горелого на Камчатке
Прорывы лавы и газов Ключевского вулкана приурочены к отдель-
ным каналам, расположенным вдоль трещины на склоне



Вулканический хребет, образованный вулканами (Корякский, Ааг и Арик)



Серная ванна и пузыри на Узоне
Системы шлаковых конусов и лавовых куполов располагаются на
склоне вулкана Чашаконджа вдоль радиальных и кольцевых раз-
ломов в Срединном хребте Камчатки. (схема Б. И. Широкого)



Телескопическая система кольцевых вулканотектонических структур в районе вулкана Б. Семячик (по Н. А. Гусеву).

Телескопическая система кольцевых вулканотектонических структур в Карымско-Семячинском районе (по Н. А. Гусеву)



Алайд. Так, наверное, выглядел ландшафт протопланеты.
В кратер вулкана Толбачик можно заглянуть. Его глубина всего
70 м, а диаметр — 100 м.



А в кратере вулкана Шивелуч можно ходить туристскими маршру-
тами



А в кратере вулкана Шивелуч можно ходить туристскими маршрутами



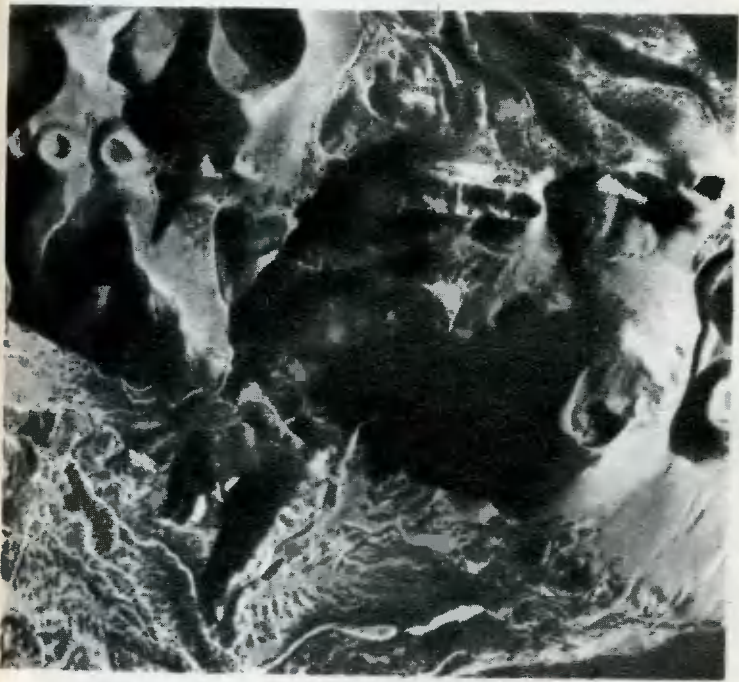
Потоки лавы вулкана Крашенинникова затопляют долины
Кольцевая лунная мегаструктура Моря Восточного (снимок Lunar
Orbiter)



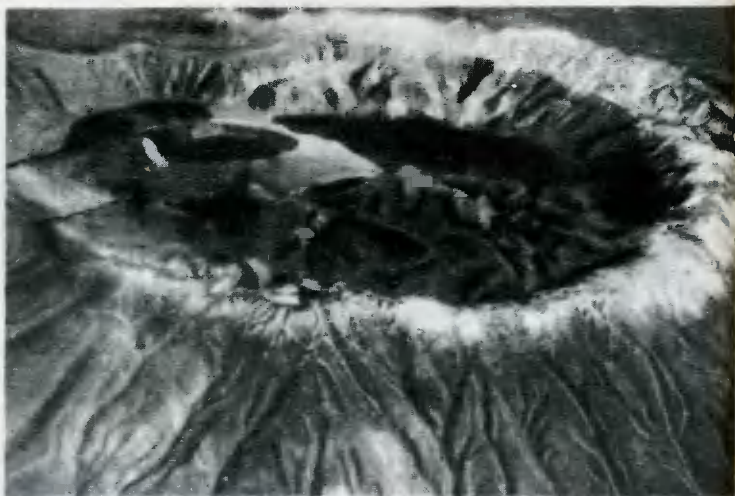
Телескопическая система лунных вулканических кальдер и кратеров в районе цирка Клавий (по Дж. Кейперу)
 Лунный ландшафт на Земле. Телескопические системы кратеров
 грязевых вулканов в кальдере Узон



Воронка взрыва у подножия вулкана Кроницкого
Лунный ландшафт (снимок «Аполло-8»).



Вулкан Крашенинникова
Вулканические кольца кратеров вулкана Крашенинникова.



Кальдера вулкана Ксудач с внутренним кратером взрыва Штюбеля
Кальдеры-близнецы вулкана Крашенинникова
Вдали вулкан Кроноцкий



Количество собственно вулканических газов огромно. За ними едва
виден высочайший вулкан Евразии — Ключевская сопка
Кальдера Узон



Кратер вулкана Карымского. На заднем плане разрушенный вулкан Двор (фото В. Подтабачного)
Горячее озеро в кратере вулкана М. Семячик



Горячее озеро в кратере вулкана Ц. Семячик. Вокруг не снег. Это результат «обработки» кислотами вулканических пород (вынесено железо)



Грязевой вулкан в кальдере Узон
Гейзерит



Термофильные сине-зеленые водоросли в горячих источниках на
вулканах
Горы купола вулкана Безымянного



Кратер вулкана Ц. Семячик. Черное озеро
Микрокальдеры и грязевые вулкана на Узоне



Вулкан Бурлящий



Узон

Отбор проб из горячих вулканических источников и озер проводится регулярно в течение всего года
Так называемые «режимные» наблюдения



Дно кратера вулкана



Океанические хребты и подводные вулканы Тихого океана





М. М. Василевский
рожденные
в огне