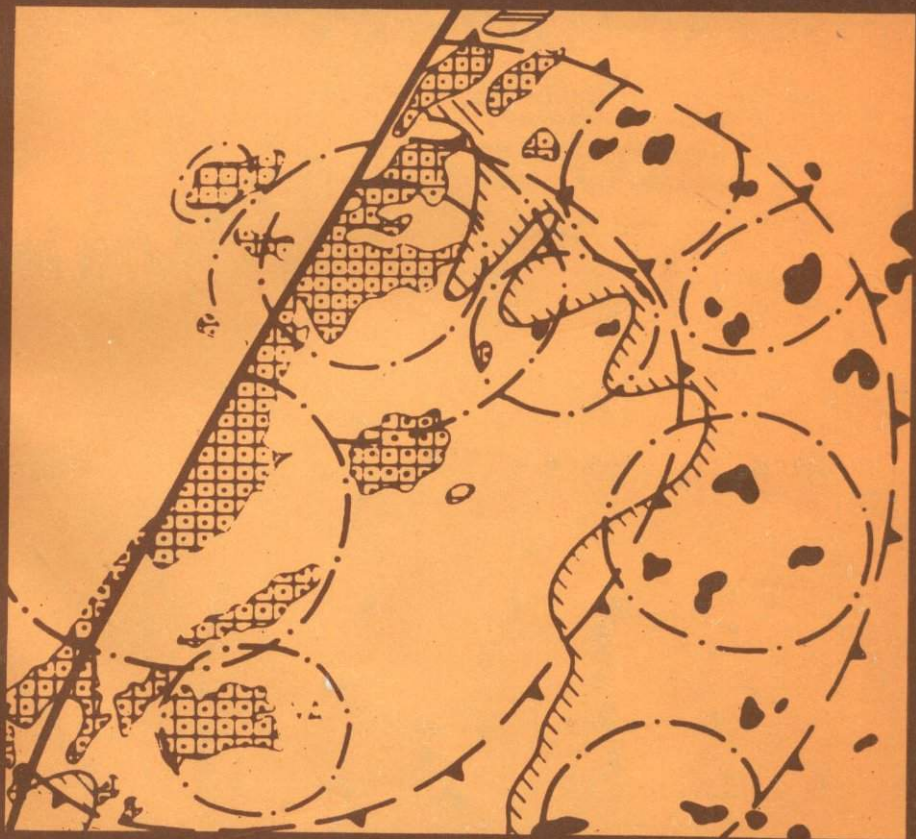


М.А.Фаворская

*Основные проблемы  
связи*

**ОРУДЕНЕНИЯ  
и МАГМАТИЗМА**



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии

М.А.Фаворская

*Основные проблемы*  
*связи*  
**ОРУДЕНЕНИЯ**  
**и МАГМАТИЗМА**

Ответственный редактор  
доктор геолого-минералогических наук  
В.Ф. МОРКОВКИНА

49/5



МОСКВА "НАУКА"  
1987



Фаворская М.А. Основные проблемы связи оруденения и магматизма. — М.: Наука 1987.

В монографии дается критический разбор существующих представлений по вопросу о связи оруденения с магматизмом как в региональном, так и в локальном плане. Наряду с этим делается попытка рассмотреть проблему с принципиально иных позиций, исходя из представлений о важнейшей роли в развитии как магматических, так и рудных процессов сквозных систем нарушений и приуроченных к ним узлов длительной эндогенной активности. Процессы специализации и концентрации оруденения рассмотрены в их взаимосвязи с составом и строением глубинных оболочек Земли. На основе всего изложенного обсуждаются факторы концентрации оруденения, использование которых позволяет приблизиться к прогнозу при поисках полезных ископаемых.

Для геологов широкого профиля, петрологов и металлогенистов.

Ил. 17. Библиогр. 70 назв.

Рецензенты: В.В. Ляхович, А.М. Курчатов

## ВВЕДЕНИЕ

Особенности взаимоотношения магматического и рудообразующего процессов в течение последних десятилетий неизменно привлекают к себе пристальное внимание исследователей. Рассмотрение этих взаимоотношений ведется как в широком региональном аспекте с привлечением различных тектонических гипотез, так и в более локальном направлении, при котором на первый план выдвигаются взаимоотношения тех или иных рудных проявлений с магматическими комплексами и формациями. Основные критерии подобных связей для интрузивных формаций были сформулированы еще в начале пятидесятых годов Г.Д. Афанасьевым и В.С. Коптевым-Дворниковым, отметившими среди подобных критериев пространственную и возрастную близость интрузий и оруденения, некоторые общие особенности вещественного состава и критерии связи, основанные на особенностях магматических и постмагматических процессов. В дальнейшем в этом же ключе В.Н. Котляром и автором были рассмотрены взаимоотношения оруденения с эффузивным магматизмом [21]. Особое внимание было также привлечено к проблеме — дайки и оруденение. Следует сказать, что, хотя упомянутые критерии сохранили в основном свое значение до настоящего времени, представления о их содержании претерпели значительные изменения и усложнения.

Большинство исследователей признает существование двух основных типов связи оруденения с магматизмом: генетического и парагенетического. Первый тип предполагает непосредственное выделение рудных эманаций из магматического расплава на месте его становления. Наличие парагенетических связей означает единство источника для магматических тел и оруденения. В настоящее время все больше сторонников приобретают представления о более сложных взаимоотношениях магматизма и оруденения, при которых магматические расплавы и рудоносные эманации возникают неоднократно в ходе единого, длительно развивающегося процесса дегазации мантии. Так, предполагается, что причиной образования палингенных расплавов могут быть глубинные (и в том числе обогащенные рудными элементами) эманации. Это позволяет говорить о взаимной обусловленности рудного и магматического процессов, в ходе развития которых магмы обогащаются рудным веществом глубинных флюидов, а при дальнейшей эволюции приобретают рудогенерирующие свойства. При этом в формировании одного и того же месторождения могут участвовать как элементы глубин-

ных эманаций, так и вещества, поступившие в палингенный очаг непосредственно из пород, подвергшихся переплавлению.

Как можно видеть, проблема связи оруденения с магматизмом тесно смыкается с проблемой источников рудного вещества, на пути к решению которой привлекаются все более совершенные геохимические методы, специальные экспериментальные исследования и термодинамические расчеты. При этом, однако, не теряют своего значения собственно геологические наблюдения, позволяющие на конкретных объектах решать вопрос о возрастных и пространственных взаимоотношениях оруденения с магматическими комплексами и формациями и об особенностях вещественного состава горных пород и рудных ассоциаций, возникающих в ходе магма-тогенно-рудного процесса.

Приводимый в монографии критический разбор многочисленных материалов и различных концепций, касающихся основных проблем связи оруденения с магматизмом, позволил сделать важное заключение о том, что подавляющее большинство исследователей рассматривают эти проблемы вне зависимости от масштаба того оруденения, связь которого с магматизмом они изучают. Основное внимание при этом нередко уделяется вопросам специализации, т.е. соотношения определенных типов оруденения с магматическими формациями определенного состава. На этом пути достигнуты значительные успехи, позволяющие утверждать, что степень родства с магматическими образованиями неодинакова для представителей различных рудных формаций. Установлено, что наиболее тесное, вплоть до прямого генетического, родство свойственно многим высокотемпературным формациям. В то же время для средне- и низкотемпературных взаимоотношения с магматическими образованиями, как правило, более сложны. Вместе с тем за последние десятилетия появились многочисленные данные, свидетельствующие о том, что крупные и уникальные рудные месторождения характеризуются своими особенностями взаимоотношения с магматическими образованиями, существенно отличающейся от мелких и средних рудопроявлений. Это позволило выделить рассмотрение взаимоотношения магматических и рудных процессов в ходе формирования крупных и уникальных месторождений в самостоятельную главу.

Наконец, в последней главе сделана попытка рассмотреть зависимость как магматических, так и рудообразующих процессов от строения и развития глубинных оболочек Земли в том виде, как это представляется сейчас по геофизическим и космогоническим данным, термодинамическим расчетам, анализу глубинных ксенолитов в изверженных породах и результатам экспериментов.

В заключение следует подчеркнуть, что, хотя в монографию привлечен значительный по объему литературный материал, она не является компиляцией, так как его изложение подчинено развиваемой автором концепции, согласно которой как магматические, так и сопутствующие им рудные образования являются закономерно сменяющимися друг друга звеньями единого глубинного эндогенного процесса.

## Глава I

# О ПОЛОЖЕНИИ МАГМАТИЧЕСКИХ И РУДООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МАГМАТИЗМА И РУДООБРАЗОВАНИЯ В СВЕТЕ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

В развитии представлений о приуроченности определенных групп рудных месторождений к этапам тектоно-магматических циклов в истории Земли важнейшая роль, как известно, принадлежит концепции Ю.А. Билибина, выдвинутой им в конце сороковых годов. Развивая идеи А.Е. Ферсмана и С.С. Смирнова, этот исследователь создал стройную схему, в которой каждому этапу геосинклинально-складчатого процесса отвечает свой определенный тип магматических и рудных формаций. Представления Ю.А. Билибина о закономерной пространственной и временной ассоциации различных типов оруденения с определенными магматическими комплексами, соответствующими упомянутым этапам, являлись в течение многих лет основополагающими и получили дальнейшее развитие в трудах многочисленных исследователей. Вместе с тем по мере накопления новых фактов все чаще стали раздаваться возражения против чрезмерной канонизации схемы Ю.А. Билибина. Отмечаемые при этом противоречия, однако, не столько поколебали правильность существенного ученым общего подхода к изучению тектономагматических и сопровождающих их рудных процессов, сколько показали большую сложность этих взаимоотношений по сравнению с наиболее общей идеализированной схемой. Эта сложность определяется в первую очередь существованием нескольких типов геосинклинальных прогибов, различающихся по характеру своего магматизма и металлогении.

Особенности металлогении геосинклиналей различного типа были охарактеризованы В.И. Смирновым [41]. Им было предложено выделять следующие главные их разновидности: 1) геосинклинали с интенсивным вулканизмом и интрузивным магматизмом ранней стадии развития; 2) геосинклинали с интенсивным вулканизмом, но без существенного глубинного магматизма ранней стадии развития; 3) геосинклинали без существенного вулканизма и глубинного магматизма ранних стадий развития. Последние подразделяются еще на те, которые испытывают инверсию на заключительной стадии развития, и те, у которых такая инверсия отсутствует. Каждый из этих типов характеризуется своими особенностями магматизма и металлогении. Складчатые пояса, формирующиеся в рамках полного сечения геосинклиналей, подразделены В.И. Смир-

новым на моноциклические и полициклические (1967 г.). Далее им отдельно рассмотрены магматизм и металлогения различных тектонических секторов геосинклиналей, включающих внутренние зоны, рвы внутренних зон, периферические зоны, рамы геосинклиналей, передовые прогибы и парагеосинклинали (наложенные мульды, пост-геосинклиналильные впадины).

Одна из последних классификаций геосинклиналей на основе особенностей их магматизма и металлогении предложена Г.А. Твалчрелидзе [45]. Это подразделение произведено в зависимости от предполагаемого типа земной коры, на которой они закладывались. Так, первичные эвгеосинклинали заложены на океанической коре или на переработанной континентальной. В них выделяются центральные прогибы, выполненные мощными недифференцированными вулканогенно-осадочными толщами однообразного натриево-базальтового или андезито-базальтового состава, рожденные в результате активного океанического толеит-базальтового вулканизма. В металлогеническом отношении для них характерны непромышленные проявления серноколчеданных руд.

Центральные прогибы первично-геосинклиналильных вулканических поясов вдоль глубинных разломов контактируют с зонами относительных синседиментационных поднятий. Для таких прогибов характерен контрастный базальт-риолитовый вулканизм. Крупные, длительно развивающиеся разломы местами контролируют вулканотектонические структуры, иногда рудоносные. С подобными зонами связаны раннегеосинклиналильные медно-цинково-колчеданные месторождения. На позднегеосинклиналильной стадии вулканизм становится более калиевым, а оруденение представлено железорудными и меденосными скарнами и меднопорфировыми проявлениями.

Вторичные эвгеосинклинали служат аналогами внутренних островных дуг и заложены на зрелой континентальной коре срединных массивов. Для них характерно широкое распространение в зонах прогибов кислых продуктов геосинклиналильного вулканизма. Интрузии габбро-сиенитовой и плагиогранит-гранодиоритовой формаций контролируются глубинными разломами, в том числе поперечными к простиранию вулканоплутонических поясов. Для вторичных эвгеосинклиналей характерны медно-цинково-колчеданные, колчеданно-барит-полиметаллические и колчеданно-полиметаллические проявления. Третьим типом геологических структур, условно отнесенных к геосинклиналям, Г.А. Твалчрелидзе считает "сланцевые геосинклинали", сложенные черносланцевыми толщами с примесью вулканического материала, состав которого меняется от кислого и щелочного в низах разреза до толеитовых базальтов в верхах. Заложение подобных геосинклиналей происходило на континентальной коре и сопровождалось ее деструкцией и извержением толеит-базальтовых магм. Сопутствующее оруденение представлено колчеданно-полиметаллическими и медно-пирротиновыми месторождениями.

Рассмотрению общих закономерностей положения оруденения в гео-

логической истории Земли с позиции концепции Ю.А. Билибина были посвящены также работы А.И. Семенова (1963 г.), Е.Т. Шаталова (1965 г.), Ю.Г. Старицкого (1967 г.). В качестве наиболее важной таксономической единицы ими выделяется металлогеническая провинция, которая представляет собой обширный складчатый или платформенный участок земной коры определенного периода и типа направленного металлогенического развития с характерными для него ассоциациями месторождений полезных ископаемых. В складчатых областях на территории СССР этими исследователями выделяются следующие типы и подтипы металлогенических провинций: 1) ультраметаморфический фемический; 2) метаморфический сиалическо-фемический; 3) фемический; 4) сиалическо-фемический; 5) фемическо-сиалический. Каждый из этих типов характеризуется своей ассоциацией ведущих и подчиненных элементов в промышленных концентрациях. Отмечается, что с процессами активизации связано образование ряда месторождений полезных ископаемых, не свойственных периоду формирования складчатых структур, что в значительной мере усложняет их металлогенический облик.

По особенностям геологического и металлогенического развития во времени предлагается выделять следующие группы провинций: 1) с незавершенным геосинклинальным циклом; 2) моноциклического развития с полным завершенным циклом; 3) моноциклического развития с наложенными тектоно-магматическими и рудообразующими процессами активизации; 4) бициклического развития (например, каледониды и герциниды Центрального Казахстана); 5) полициклического развития с проявлением платформенного магматизма и рудообразования в ранее сформированных складчатых структурах; 6) тектоно-магматической активизации (дива), захватывающие разновозрастные складчатые области и платформы с разновозрастной и разнообразной предшествующей минерализацией. Термины "металлогеническая эпоха" или "этап эндогенного оруденения" авторы предлагают понимать не в качестве универсальных для всей земной поверхности, а в их взаимосвязи с термином "тектоно-магматический цикл" для данного региона.

Таким образом, как основные положения концепции Ю.А. Билибина в ее первоначальном виде, так и последующие ее усложнения позволяют сделать один главный вывод: смена во времени и пространстве различных магматических и рудных формаций происходит в тесной взаимосвязи и является в конечном итоге следствием истории геологического развития и структурных особенностей соответствующих участков. Все сказанное позволяет предполагать, что образование как магматических расплавов, так и рудных эманаций является результатом развития единого глубинного процесса, проявляющегося на поверхности в пределах определенных структурных зон.

В начале шестидесятых годов возникли и стали быстро развиваться представления об упомянутой выше тектоно-магматической активизации (В.Л. Масайтис и Ю.Г. Старицкий, М.С. Нагибина

и др.), которым суждено было сыграть важную роль в последующих металлогенических построениях. Под этим термином подразумевался процесс вовлечения отдельных участков платформ, щитов и областей завершённой складчатости в тектонические движения, протекающие на фоне интенсивного развития магматизма. Вопрос о причинах подобных явлений и об их соотношении с геосинклинально-складчатым процессом решался на раннем этапе развития этих представлений неоднозначно. С одной стороны, рядом исследователей подчеркивалась автономность процессов активизации. Так, Е.Д. Карпова в своем докладе на годичной сессии Ученого совета ВСЕГЕИ в 1966 г. [17] охарактеризовала связанные с активизацией сводово-глыбовые движения как особый, третий тип развития земной коры, независимый от геосинклинального и платформенного. В монографии коллектива авторов, посвященной магматизму и минерации, сопровождающим блоковую тектонику [51], явления активизации рассматривались как анхипланетарные импульсы, охватывающие периодически и одновременно значительно разобщенные регионы и вовлекающие в сферу своего влияния различные участки земной коры независимо от их структурных особенностей и этапов развития. Подобным же образом в одной из работ шестидесятых годов Ю.А. Кузнецовым и А.Л. Яншиным (1967 г.) было высказано мнение о фактической независимости образования гранитных комплексов от геосинклинального цикла. Вместе с тем некоторые исследователи считали необходимым выделять несколько типов активизации. Так, например, А.Д. Щеглов [61] предлагал различать, помимо автономной, также активизацию в геосинклинальной раме и неотектоническую активизацию. Предполагается, что процессы активизации в жестких блоках, обрамляющих геосинклинали, могут быть наведены последними. Однако синхронность этих процессов в действительности свидетельствует только о их подчинении общим тектоническим ритмам.

Обращаясь к эволюции сводово-глыбовых движений и сопровождающих их структурных форм, Е.Д. Карпова [17] писала о смене сводовых поднятий разломообразованием с дифференцированными, иногда контрастными движениями и формированием мозаично-глыбовых структур.

Последовательность магматических проявлений в процессе эволюции сводово-глыбовых движений была рассмотрена также нами на примере кольцевых структур континентального побережья Татарского пролива (Фаворская, 1968 г.) В этой публикации процесс формирования подобных структур, среди которых наиболее крупные достигали нескольких сот километров в поперечнике, был подразделен на два этапа. На первом этапе, отнесенном к позднему мелу — палеоцену, происходило сводообразование, сопровождавшееся внедрением гранитов и охватывавшее структурно разнородные участки земной коры. В дальнейшем начиная с эоцена вплоть до раннечетвертичного времени происходил распад сводов с образованием наложенных впадин, выполненных вулканогенно-озерными отложениями, и с неоднократно возобновлявшимися излияниями базаль-

тов. Для объяснения наблюдаемых явлений было высказано предположение о глубинном плавлении и поднятии базальтовых расплавов, которые на ранней стадии процесса не проникали на поверхность, но способствовали образованию очагов палингенных кислых магм и связанных с ними купольных поднятий. Механизм последующего погружения, сопровождавшегося поступлением основных расплавов на поверхность, был похож на механизм кальдерообразования.

Впоследствии оказалось, что изложенная выше последовательность процессов тектоно-магматической активизации имеет общее значение, в связи с чем была сделана попытка рассмотрения глобальных причин этих закономерностей. В частности, в упомянутой выше монографии [51] отмечалось, что процессы активизации в крупнейших мегаблоках могут проявляться по-разному в зависимости от соответствующего режима развития. Периодам сжатия и воздымания отвечают специфические, собственно орогенные структуры, среди которых важнейшая роль принадлежит сводовым поднятиям, сопровождающимся интенсивным гранитообразованием. Периодам растяжения и опускания отвечает образование рифтов с их базальтовым магматизмом и трапповый магматизм. На границе двух мегаблоков с различной тенденцией развития возникают краевые вулканические пояса с интенсивным кислым вулканизмом и синхронно проявляющимся в определенных структурных условиях магматизмом повышенной основности. Подобные условия отличаются также повышенной проницаемостью для глубинных флюидов. На примере вулканического пояса Сихотэ-Алиня было показано, что вулканы кислого состава особенно характерны для участков, вовлекаемых в процессы воздымания с опозданием по отношению к мегаблоку в целом. Периоды сжатия и растяжения в пределах одного и того же блока могут чередоваться во времени, и каждый из них сопровождается определенным типом металлогении.

Изменение структурного плана регионов в период тектоно-магматической активизации и независимость сопровождающих ее процессов от предшествующих структур земной коры позволяет сделать вывод о глубинной, подкоровой природе подобных явлений, что подтверждается и геофизическими данными.

Одновременно с изучением тектоно-магматических аспектов процессов активизации внимание исследователей было привлечено и к ее металлогеническому аспектам. Так, выдвигая сводово-глыбовые движения в качестве самостоятельного третьего типа развития земной коры, Е.Д. Карпова (1973 г.) подчеркивала, что именно с этими движениями связано наиболее продуктивное оруденение в ряде регионов. В конце шестидесятых годов металлогении областей активизации была посвящена специальная монография А.Д. Щеглова [61].

Начиная с середины шестидесятых годов роль сводово-глыбовой тектоники в закономерностях размещения золотого оруденения детально изучалась Н.А. Фогельман [59]. На примере Забайкалья ею было показано, что резкая смена кислого магматизма трахи-

базальтовыми излияниями трещинного типа знаменует собой переход от периода сводового воздымания в сторону возникновения условий преобладающего растяжения и относительного опускания. Возросшая дифференциация блоковых дислокаций на поздних этапах сводообразования сопровождалась формированием позднеюрских гипабиссальных малых интрузий, дайковых поясов и ассоциирующих с ними месторождений золото-турмалиновой формации. При этом наблюдалось совпадение рудных районов с блоками поднятия. В отличие от этого с этапом грабенообразования связаны нижнемеловые, эпитермальные месторождения золото-серебряной формации и флюоритовые месторождения. Магматизм этого этапа активизации характеризовался, с одной стороны, образованием субвулканических тел трахилипаритового состава, с другой — излиянием базальтов. Подобным же образом многочисленные исследования магматизма рудных полей Приморья свидетельствуют о том, что для этой территории наиболее активные рудные процессы были связаны с переходной стадией от преобладающего сводообразования к явлениям частичной деструкции, описанным выше для расположенного севернее побережья Татарского пролива.

Вместе с тем дальнейшее изучение кольцевых структур на территории Приморья показало, что формирование многих из них было связано с более сложной историей развития магматизма, чем это было отмечено в упомянутой статье. В качестве примера приведен сложный изометричный ареал магматизма в бассейне р. Светловодной по данным И.К. Волчанской [3]. В состав этого ареала, имеющего в поперечнике около 30 км, входят три крупных структуры: интрузивный купол г. Золотой, кальдера вулк. Двугорбого и щитовой вулк. Барачек.

Наиболее ранним образованием является купол г. Золотой, в центре которого обнажается интрузия сложного состава. Центральная часть ее сложена гранитом, а периферическая — монцитом. Интрузия прорывает кислые эффузивы верхнемелового возраста и сечется экструзивами палеогеновых фельзолипаритов. Абсолютный возраст гранитов массива, полученный по определению биотита калий-аргоновым методом,  $61 \pm 5$  млн лет<sup>1</sup>.

Кальдера вулк. Двугорбого заложена в осадочных породах нижнего мела и верхнемеловых палеогеновых кислых эффузивах. Кальдера выполнена комплексом липаритов, дацитов, андезитов, а также туфами и лавобрекчиями этих пород. В основании образований присутствуют базальные конгломераты с галькой гранитов купола Золотого. Кальдерные отложения пронизаны большим количеством иногда оруденелых пластовых тел среднего и кислого состава. Некоторые из них сильно гидротермально изменены. Абсолютный возраст пород кальдерного комплекса 52—54 млн лет.

Щитовой вулк. Барачек является еще более поздним образованием. Это крупная вулканическая постройка с поперечником более 16 км. В основании разреза на базальных конгломератах залегают туфо-

<sup>1</sup> Определение лаборатории ИГЕМ АН СССР.

генные агломераты и фельзолипариты, аналогичные жерловым фациям кальдерного комплекса. Выше залегают покровные долериты с линзами озерных отложений, возраст которых по спорово-пыльцевому анализу определен как позднеплиоценовый—раннечетвертичный. Таким образом, и на примере этого сложного магматического ареала отчетливо наблюдается смена процессов воздымания и сводообразования деструктивными процессами, сопровождающимися проявлением оруденения.

Большое внимание металлогенической роли сводовых поднятий уделено также коллективом геологов под руководством И.Н. Томсона. Одним из основных направлений исследований этого коллектива явилось изучение металлогенической зональности, возникающей под влиянием как самих сводов в целом, так и особенностей их внутренней расчлененности и дифференциальных движений секториальных блоков.

В недавно опубликованной монографии И.Н. Томсона с соавторами [48] эволюция концентрических структур и сопутствующих им магматизма и металлогении рассматривается отдельно для разных таксономических групп. Так, глобальные мегаконцентрические структуры, согласно этим авторам, являются протоструктурами планетарного класса, на фоне которых развиваются разнообразные формы дислокаций. К подобным структурам закономерно приурочены дугообразные и концентрические геосинклинально-складчатые системы, срединные массивы, вулканические пояса, а также системы рифтогенных впадин. Эти мегаструктуры не представляют собой сводовых поднятий, так как образованию последних противодействует сила гравитации. Авторы отмечают, что полноразвивающиеся концентрические структуры глобального масштаба редки из-за экранирующего влияния планетарных систем линейных разломов. Это высказывание, как нам кажется, противоречит сделанному ранее предположению, что концентрические структуры предшествовали линейным в истории Земли. Концентрические структуры подчиненных порядков (до 1000 км в поперечнике) не контролируют расположение геосинклинально-складчатых систем, но возникают на завершающих стадиях геосинклинального развития в орогенных условиях. Одни из них обрамлены вулканическими впадинами, другие состоят из разных сочетаний поднятых и опущенных блоков, что создает разные варианты положения вулканических впадин (осевые, секториальные и т.п.). В отличие от мегаструктур здесь присутствует формационный ряд наземных вулканических поясов и наложенных впадин.

Характер связи оруденения с концентрическими структурами проявляется, согласно И.Н. Томсону и его соавторам, разнообразно. Одни из них не обнаруживают отчетливого влияния на локализацию оруденения, другие же определяют размещение специализированных металлогенических зон, т.е. упомянутую выше зональность оруденения с закономерной сменой его состава по отношению к центру структур. Наконец, третьи выступают в качестве концентраторов оруденения. Глобальные структуры определяют положение метал-

логенических провинций и оказывают влияние на металлогеническую зональность внутри них через посредство дочерних форм. Таким образом устанавливается связь между структурно-морфологическими типами концентрических образований и характером сопровождающей их металлогенической специализации. Эта связь проявляется в самом общем виде, например в том, что четко выраженные сводовые поднятия имеют оловорудную специализацию, тогда как концентрические структуры с опущенной внутренней частью золотосны.

В рассматриваемой монографии наибольшее внимание привлекает разработка концепции мегакольцевых протоструктур, значительно восполняющая прежние представления авторов, изложенные в коллективной монографии [51]. Вместе с тем именно эти построения являются и наиболее дискуссионными так как сами авторы отмечают относительную редкость правильных концентрических структур этого класса. Кроме того, предполагаемая гетерогенность их, выраженная в участии самых различных тектонических структур, от рифтов до срединных массивов, заставляет сомневаться в правомерности их выделения в качестве единых тектонических образований. В соответствии с этим и магматизм и металлогения подобных мегаструктур распадаются на магматизм и металлогению, отвечающие их составным элементам.

#### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МАГМАТИЗМА И РУДООБРАЗОВАНИЯ В СВЕТЕ НОВОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕКТониКИ**

Как можно было видеть, изложенные выше металлогенические концепции, как опирающиеся на особенности развития различных типов геосинклиналей, так и выдвигающие на передний план явления активизации, основываются на представлениях о ведущей роли вертикальных движений, сопровождающихся ограниченными по масштабам горизонтальными перемещениями. Последние возникают, в частности, на границах мегаблоков в условиях растяжения.

В противоположность этому в конце шестидесятых годов возникли и вскоре получили широкое признание представления о ведущей роли горизонтальных движений в истории развития Земли. В рамках этой концепции, получившей название тектоники плит или новой глобальной тектоники, различными авторами были, под соответствующим углом зрения, рассмотрены закономерности развития магматизма и рудообразования. Остановимся вкратце на основных положениях упомянутой концепции и ее металлогенических аспектов.

Гипотеза тектоники плит была выдвинута американскими учеными Г.Х. Хессом и Р.С. Дитцем в начале шестидесятых годов и в дальнейшем разрабатывалась целым рядом тектонистов, включая как зарубежных, так и советских. У нас ее убежденными последователями являются П.Н. Кропоткин, Л.П. Зоненшайн, В.Е. Хайн и др. С позиции рассматриваемой гипотезы движение литосферных плит вызывается конвективной или иной циркуляцией ве-

щества в астеносфере под влиянием энергии, поступающей из внутренних оболочек Земли. Известную роль в этом процессе играют и ротационные силы. Сплошность литосферы нарушается на границах плит в тектонически активных зонах, всегда обладающих сейсмичностью. К числу их относятся рифтовые долины на материках, срединно-океанические хребты и перпендикулярные по отношению к ним зоны сдвигов, так называемые трансформные разломы, а также системы островных дуг и глубоководных желобов и молодые складчатые сооружения типа Альпийско-Гималайского пояса. Вначале выделялось шесть или восемь плит, в дальнейшем — значительно больше.

Наряду с крупными плитами (или мегаплитами) признают существование более мелких или микроплит, отвечающих отдельным глубоководным бассейнам или частям раздробленных континентальных блоков. Местами расхождения плит принимаются рифтовые зоны океанов. Считается, что рифты — это очень глубокие зоны проницаемости, по которым из подкоровых глубин поступают на дно океанов базальтовые расплавы и происходит внедрение гипербазитов. Последующее новое раскрытие рифтовых систем, или так называемый спрединг, приводит к отодвиганию в стороны более ранних магматических продуктов. Таким образом мы теперь, следуя крест простирания океанических рифтов, должны встречать все более древние поля базальтов. Такие соотношения местами, но не везде, подтвердились.

По данным Г.Ф. Макаренко (1978 г.), крупные области океанического дна перекрыты практически разновозрастным плащом базальтов, несмотря на их различную удаленность от предполагаемых зон раздвигов. При этом синхронные базальты развиты и в виде траппов на прилегающих материках.

В отличие от зоны спрединга, где кора наращивается, в области столкновения плит происходит погружение одной из них и ассимиляция мантийным веществом. Области погружения или "всасывания" одной из сталкивающихся плит называются областями субдукции. Они приурочены к уходящим наклонно под континенты или островные дуги зонам глубоких сейсмических очагов. Такие зоны известны под названием зон Заварицкого—Беньофа и прослеживаются до глубины 650 км. Смещения в очагах землетрясений указывают либо на надвигание континентальной плиты на океаническую, либо на поддвигание океанической под континентальную. Считается, что в глубоководных желобах, прилегающих к островным дугам, происходит столкновение океанических плит с плитами, отвечающими этим дугам, а при столкновении океанических и континентальных — образуются континентальные окраины андийского типа. Предполагается также, что там, где океаническая плита поддвигается под континентальную, приносимые ею осадки нагромождаются на внутреннем склоне глубоководного желоба и сминаются в складки. Это позволяет некоторым сторонникам рассматриваемой гипотезы относить глубоководные желоба к современным геосинклиналям.

В строении островных дуг начиная от океанического ложа в сторону континента наблюдается следующая смена структур: глубоководный желоб; осадочная терраса, выступы которой на поверхности образуют иногда первую невулканическую дугу; вулканическая островная дуга; окраинное море с глубоководной впадиной; континент. В поперечном сечении вулканических дуг наблюдается закономерная смена состава эффузивов: по направлению от выпуклой стороны дуги менее щелочные и относительно более кислые толеиты через высокоглиноземистые базальты и породы известково-щелочной серии сменяются на вогнутой стороне дуги щелочно-оливиновыми базальтами. В этом же направлении наблюдается увеличение отношения калия к кремнезему. В тылу островных дуг, на континентальной окраине, образуются интрузии тоналит-гранодиоритового состава.

Считается, что в зонах субдукции литосферные плиты, попадая в сферу мантийного вещества, ассимилируются им, а поднимающиеся в ходе этого процесса выплавки наращивают вулканическую островную дугу. Области субдукции андийского типа представляют собой участки, где океаническая кора поддвигается под континентальную. Здесь по направлению от океанического ложа в сторону континента наблюдается следующая смена структур: глубоководный желоб; континентальный склон и осадочная терраса; континентальная окраина с вулканическим поясом. В отличие от островных дуг вулканизм на окраинах плит андийского типа протекал только в континентальных условиях и изверженные породы отличались более кислым составом. В тылу Андийского пояса, в частности, происходило образование редкометалльных гранитов. Далее столкновение двух континентальных плит вызывает смятие и воздымание их окраин без заметного надвигания или поддвигания одной плиты под другую. В качестве примера таких границ приводятся Гималаи, образовавшиеся, в свете рассматриваемой гипотезы, на месте столкновения Азиатской и Индийской плит.

По мере того как гипотеза тектоники плит развивалась, выделялись новые типы взаимоотношения плит. При невадийском типе континентальная и океаническая плиты при встречном движении упираются друг в друга — образуются огромные батолиты гранитоидного состава, подобные тем, которые образовались на западных побережьях обеих Америк в мезозое. Выделяют также так называемые зоны обдукции, где в отличие от зон андийского типа плита с океаническим типом коры не поддвигается, а надвигается на плиту континентального типа. В качестве такой зоны рассматривают, например, Альпы. В процессе обдукции образуются крупные пластины офиолитов, надвинутые на осадки миогеосинклинального типа. При калифорнийском типе континентальная плита надвигается на океаническую.

Следует подчеркнуть, что гипотеза тектоники плит опирается в первую очередь на наблюдения над современными явлениями и фактами, среди которых главную роль играют а) существование мировой рифтовой системы с особыми геофизическими при-

наками (повышенной сейсмичностью, повышенным тепловым потоком и т.п.); б) существование зон Заварицкого—Беньофа как особых сейсмофокальных плоскостей; в) существования активных зон повышенной современной сейсмичности и вулканической активности; г) сходства границ и геологических элементов некоторых континентов.

На основе этих и некоторых других установленных фактов, в том числе палеомагнитных данных, сторонники гипотезы предприняли анализ геологического прошлого нашей планеты. Устанавливая в прошлом магматические, литологические, палеогеографические и другие признаки, близкие к современным активным зонам, они постулируют и соответствующую современной геодинамическую обстановку. Следует, однако, отметить, что на этом пути сторонники гипотезы глобальной тектоники встречаются с существенными трудностями. Так, выдвигаемый в качестве одного из определяющих факторов состав магматических образований выглядит одинаково для различных типов соприкосновения плит. Например, породы повышенной щелочности выделяют как в связи с континентальными рифтами, так и с зонами андийского типа. Если при этом учесть различную степень изученности отдельных территорий, становится понятным разноречивой в трактовке различными исследователями одного и того же региона.

В стремлении увязать противоречивые факты отдельные авторы то увеличивают количество предполагаемых плит и усложняют особенности их движения, то выдвигают новые представления о существовании различных типов развития главных тектонических элементов, выделяемых в соответствии с рассматриваемой гипотезой.

Согласно приведенным описаниям, можно заключить, что во всех типах столкновения плит, за исключением невадийского и, возможно, калифорнийского, преобладает основной магматизм или магматизм умеренной основности. Кислые разности возникают только в пределах континентальных окраин и пользуются ограниченным развитием. В соответствии с этим и в металлогении, связанной с явлениями, происходящими в зонах предполагаемых границ плит, главная роль принадлежит таким элементам, как медь, железо и марганец. Так, рифтовые зоны океанов сопровождаются скоплением железо-марганцевых конкреций, обогащенных медью и цинком. Установленные за последние годы в пределах Тихоокеанской рифтовой зоны многочисленные рудоносные струи образуют сульфидные залежи колчеданного типа. Характерными рудными формациями островных дуг являются медноколчеданные месторождения. На континентальных окраинах, в тылу островных дуг возникают скарновые месторождения железа и меди. В зонах субдукции андийского типа наблюдается сложная металлогеническая зональность. Наиболее характерно присутствие меднопорфировых, иногда молибденосодержащих месторождений на континентальной окраине. Примером их являются крупнейшие месторождения Чили. Далее в глубь Южно-Американского континента появляются месторождения свинца и цинка, затем олова и вольфрама, связанные с гранитами, и, на-

конец, месторождения циркона и ниобия как представители металлогении щелочных магм. Считается, что металлогения зон обдукции близка к таковой островодужного типа, а в зонах столкновения континентальных плит эндогенная минерализация проявлена слабо и представлена редкометальным высокотемпературным типом.

В отличие от основных положений гипотезы тектоники плит А.В. Пейве (1967, 1974 гг.) и его последователями была выдвинута концепция расслоенности литосферы. В соответствии с этой концепцией на границе сталкивающихся плит происходит не субдукция, а скучивание коровых и мантийных масс и "континентализация" коры за счет разрастания гранитно-метаморфического слоя. Гигантских цельных и жестких литосферных плит не существует. Литосфера пронизана горизонтальными, наклонными и вертикальными подвижными зонами, так что отдельные ее пластины, названные литопластинами, перемещаются дифференцировано, будучи разделены слоями пониженной вязкости и прочности — астенослоями. В рамках этой концепции офиолитовые пояса представляют собой реликты древних океанов, исчезнувших в результате тектонической и химической переработки океанической коры и сближения перемещавшихся в горизонтальном направлении континентальных литопластин побережий. Переход к образованию континентальной коры связан с глобальными импульсами тектонического сжатия. В отличие от этого океаническая кора возникает в процессе рифтогенеза. Сторонниками описываемой концепции выдвинут новый принцип районирования земной поверхности — по возрасту становления зрелой континентальной коры. При этом на картах выделяют типы структур согласно слагающим их формациям. Металлогенические особенности рассматриваются на фоне подобных, и в первую очередь магматических формаций.

Попробуем рассмотреть основные тенденции в развитии представлений об особенностях магматизма и связанного с ним рудного процесса с позиций гипотезы тектоники плит. С этой целью можно обратиться, с одной стороны, к совещаниям, посвященным этой проблеме в Советском Союзе (1973, 1976 гг.), и к 25-му Международному геологическому конгрессу (1976 г.), с другой стороны, к 27-му МГК (1984 г.) [10, 11] и некоторым публикациям середины восьмидесятых годов. Первое, что хочется в этой связи отметить, — это уменьшение общего количества докладов, посвященных вопросам магматизма и металлогении с позиции гипотезы тектоники плит на конгрессе 1984 г. по сравнению с совещаниями середины семидесятых годов. Что касается последних, то на них значительная часть докладов была посвящена попыткам реконструкции геодинамических обстановок прошлого на основе данных по магматизму и металлогении отдельных регионов с привлечением палеомагнитных и палеоклиматических данных (Л.П. Зоненшайн, А.В. Мишина и А.С. Карпова, И.П. Абрамович и И.Г. Клушин и др.). Наряду с этим многие авторы докладов на 25-м МГК обращались к металлогении отдельных регионов или отдельных рудных элементов на фоне геодинамических реконструкций (Т. Демон, С. Хэйнес

и др.). Значительное внимание было уделено офиолитовым поясам, которые, в соответствии с упомянутыми взглядами А.В. Пейве, рассматривались как структуры, определяющие положение древних океанов. Особенностью многих докладов являлась, однако, чрезвычайная усложненность построений с неоднократным изменением предполагаемого положения зон субдукции и трансформных разломов. Такие доклады изобиловали произвольными допущениями. Так, обращаясь к истории образования Гималаев, Р. Силлитоз с соавторами (1976 г.) отходят от первоначальной трактовки строения этого региона как результата простого столкновения двух континентальных плит и рисуют значительно более сложную картину с участием субдукции, рифтообразования и трансформных разломов.

Хотя большинство докладчиков стремились доказать ведущую роль в размещении оруденения тангенциальных движений, сопровождавшихся надвигами и шарьяжами, были и такие, которые подвергали сомнению наличие значительных горизонтальных движений земной коры (Архангельская и некоторые другие, 1976 г.). В ряде докладов из числа элементов гипотезы тектоники плит выделялись рифтогенные структуры и рассматривались только связанные с ними эндогенные процессы. С другой стороны, под давлением новых фактов построения сторонников этой гипотезы все усложнялись.

4915  
Что касается источника наблюдаемых эндогенных проявлений, то при рассмотрении этого вопроса большая роль придавалась переплавлению материала океанических плит в процессе их субдукции. Таким образом, например, О.Г. Сорохтин с соавторами (1976 г.) пытались, прибегая к различным допущениям, объяснить источник золота, А.А. Озол — источник бора. Позднее Л.Н. Овчинников (1985 г.) выдвинул в качестве главной рудогенерирующей особенности субдукции дегидратацию погружающейся плиты, в процессе которой происходят широкий вынос отдельных элементов и их переотложение, сопровождающиеся интенсивным метаморфизмом вмещающих пород. Вместе с тем отдельными авторами были высказаны сомнения в отношении прямолинейной трактовки проблемы источников эндогенного вещества. Так, Д. Левис и Д. Сэпала пришли к заключению, что ей противоречат петрологические и изотопные данные. Авторы считают, что причиной являются процессы, возникающие при взаимодействии коры и мантии. При этом гранитные магмы и связанное с ними олово генерируются только в утолщенной и развитой коре.

Следует также отметить, что многие авторы уже в середине семидесятых годов не смогли пройти мимо несомненного влияния линейментов на особенности размещения эндогенных проявлений. Так, А. Крауфорд выделил крупнейший линеймент, простирающийся из Индии на Мадагаскар, и рассмотрел его роль в развитии магматизма и оруденения. Прямая, хотя и осторожная, критика в адрес гипотезы тектоники плит прозвучала в докладе Р. Рутье, который отметил, что специализированные рудные пояса Европы, включающие наиболее крупные месторождения, повсеместно не сов-

падают с реконструируемыми границами плит. В этой связи сторонники гипотезы новой глобальной тектоники вынуждены были обратить внимание на структуры, получившие название внутриплитных. Так, один из наиболее убежденных сторонников тектоники плит Ф. Гайльд [63] вынужден был прийти к заключению, что "внутри плит месторождения приурочены к поперечным разломам". Согласно другому активному неомобилисту, В.Е. Хаину, проблема связи магматизма с внутриплитными деформациями пока еще не нашла решения в рамках тектоники плит.

В этом отношении характерна ситуация, имевшая место на 27-м МГК в 1984 г. Как было отмечено выше, по сравнению с приведенными данными по основной металлогенической тематике на 25-м МГК общее количество докладов рассматриваемого профиля на секции 0.12 27-го МГК (металлогения и рудные месторождения [11]) было значительно меньше. Среди них, пожалуй, только доклад С. Янковича полностью отвечал традиционному направлению семидесятых годов. Согласно его построениям, геологическое развитие Евразийского металлогенического пояса Тетиса связано с его раскрытием, формированием островных дуг и микроплит, его закрытием, присоединением к Евразии, субдукцией океанической коры, столкновением между континентами, континентами и островными дугами, а также поддвигом континентальной коры. На основе соответствующих сложных реконструкций автором рассматривается металлогения альпийских гранитоидов.

Характерно, что на этом конгрессе в ряде докладов к решению металлогенических проблем привлекались и основные положения геосинклинальной концепции (Н.А. Фогельман с соавторами, В.Г. Гарьковец с соавторами, В.А. Кузнецов и Ю.В. Ильинский и др.), а некоторые авторы занимали своего рода промежуточную позицию, используя терминологию как этой концепции, так и тектоники плит (Е.А. Радкевич).

Заслуживает внимания, что и на секции 0.9 (петрология) доклады, рассматривающие магматические процессы с позиции тектоники плит, были представлены в ограниченном количестве, причем среди авторов подобных докладов преобладали советские ученые. Так, в докладе О.А. Богатикова и В.И. Коваленко, озаглавленном "Магматизм и геодинамика", тектоническая обстановка магматизма первых 2,5—3,0 млрд лет с ее крупнейшими линейными зеленокаменными поясами противопоставлялась последующим событиям, для которых ведущими стали элементы тектоники плит. В этом докладе усиленное внимание также уделено разделению геодинамических обстановок на простые и сложные, где под последними понимается совмещение различных простых обстановок с наложением друг на друга характерного для них магматизма. Как можно видеть, в этих построениях, по существу, игнорируется проблема унаследованности структурного развития Земли в фанерозое от соответствующего развития в докембрии. В связи с этим представляет интерес анализ последовательных изменений геодинамической обстановки от докембрия до фанерозоя, данный А.М. Гуд-

вином в переведенном на русский язык специальном выпуске журнала "Science" — "Современные проблемы геодинамики" (1984 г.).

В целом наблюдается общая тенденция отхода многих металлогенистов от некоторых крайних положений "тектоники плит". В частности, при металлогенических построениях упор нередко делается не на перемещения плит на большие расстояния, а на влияние зон Заварицкого—Беньофа на зональность в размещении магматических продуктов и рудных месторождений. Так, В.И. Смирнов [42] поставил особенностью размещения разновозрастных медно-колчеданных месторождений Кавказа в зависимость от последовательного развития зон Заварицкого—Беньофа с севера на юг от каледонской в области северного склона Большого Кавказа до альпийской в Северо-Курдистанской области.

Нельзя, однако, сказать, что сторонники новой глобальной тектоники существенно отошли от попыток увязать металлогенические особенности отдельных территорий с усложненными геотектоническими построениями с позиций мобилизма. Примером такого подхода могут служить недавние публикации В.И. Коваленко с соавторами (1983, 1984 гг.), где они рассматривают позднепалеозойскую и раннемезозойскую геологическую историю территории Монголии как сложную цепь процессов субдукции, надвига континентальной плиты на океаническую, рифтогенеза и выплавления кислых магм из континентальной плиты. Каждое из этих движений во многом постулируется с использованием особенностей магматических процессов, которые без специального обсуждения рассматриваются как главные факторы, определяющие размещение рудных месторождений.

Для того чтобы представить себе наиболее общие слабые стороны в металлогенических построениях большинства сторонников тектоники плит, обратимся к вышедшему в 1985 г. из печати сборнику "Тектоника плит и полезные ископаемые". Авторы его С.А. Ушаков, Г. Ольсзак, Л. Бауман и другие утверждают, что достижения гипотезы тектоники плит, которую они называют теорией, начинают использоваться для совершенствования методов прогнозирования и поиска новых скоплений минерального сырья. Однако это утверждение остается, по существу, не подкрепленным какими-либо конкретными рекомендациями. Вместо этого, в качестве главного достижения тектоники плит выдвигается установление процесса затаскивания осадков в зону субдукции. А это, в свою очередь, рассматривается авторами как ключ к пониманию важного значения всей совокупности палеогеографических процессов для формирования эндогенных полезных ископаемых. В таком изложении трудно понять как именно связаны эндогенные месторождения с процессами субдукции и как можно от этих деклараций перейти к практическим рекомендациям. Одной из главных рекомендаций авторов является изменение психологии геологов-рудников, привыкших к геосинклинальной концепции. Но, для того чтобы ставить такую задачу, нужно сначала детально и убедительно разработать альтернативную металлогеническую гипотезу.

Значительно осторожнее подходят к этому вопросу Ч.Л. Дрейк

и Дж. Максвелл в сборнике "Современные проблемы геодинамики" (1984 г.), утверждающие, что мы только начинаем познавать глобальные геофизические, геологические и геохимические системы, связанные с формированием природных ресурсов. Подобным же образом Геодинамический комитет США в своем докладе "Геодинамика в 80-х годах" поставил разработку принципов для понимания систем природных ресурсов в качестве одной из предстоящих задач. Тот факт, что современные мобилистические модели рудогенеза являются недостаточно конструктивными, признают и такие апологеты тектоники плит, как И.И. Абрамович и И.Г. Клушин (1984 г.).

Следует отметить, что, хотя новая глобальная тектоника, завоевавшая себе многочисленных последователей, дала на первый взгляд в споре между фиксистами и мобилистами перевес последним, в адрес этой гипотезы почти сразу была произнесена и весьма серьезная критика. За рубежом главными оппонентами вскоре после ее возникновения явились А. и Г. Меерхоффы (1974 г.), а в СССР Ю.М. Шейнман (1973 г.). Основные возражения Мейерхоффов сводятся к тому, что доказательства, приводимые в пользу значительного перемещения континентов, опираются на единичные и малопредставительные факты. Так, например, сходство некоторых ископаемых проявляется на различных континентах только на уровне родов, а виды их различны. Уже с триаса флора северного полушария обнаруживает климатическую зональность относительно современного северного полюса. Осадки, заполняющие глубоководные желоба, не деформированы, что противоречит утверждению о роли желобов как зон субдукции и т.п.

Ю.М. Шейнман, со своей стороны, указывал, что некоторые палеоклиматические интерпретации, например предполагаемое наличие центров оледенения в палеозое на территории современной Индии, не могут приниматься в расчет, так как оледенение это было горным. Он указывал также на неправомочность интерпретации сторонниками тектоники плит некоторых геофизических данных. В дальнейшем количество фактов, противоречащих этой гипотезе, продолжало увеличиваться. В числе главных возражений против мобилизма, использованных еще Н.С. Шатским и позднее В.В. Белоусовым, является соображение о том, что основные структуры земной коры имеют глубокие корни. В этой связи интересно отметить опубликованные недавно данные Д. Вудхауза и А. Дзиевонски [70]. Построенная этими авторами модель, основанная на специальных сейсмических исследованиях, позволила подтвердить, что отдельные как высокоскоростные, так и низкоскоростные аномалии прослеживаются из поверхностных зон до глубины 650 км.

Наряду с этим, обобщая физические данные, касающиеся верхней мантии, Н.Г. Клушин (1984 г.) приходит к выводу о том, что существующие в ней латеральные термические неоднородности не обнаруживают отчетливых связей с типом литосферы и отдельные аномалии переходят с континентов на океан. Не наблюдается также зависимости контуров термических аномалий от границ литосферных

плит. Это означает, что основной вклад в определенные значения температуры вносит состояние подастеносферного вещества. Зоны океанического спрединга никак не выделяются в рассматриваемом термическом поле, хотя они отчетливо выражены в поверхностном тепловом потоке. Обширные термические неоднородности обладают значительной консервативностью; медленно эволюционируя, они сохраняются на протяжении сотен миллионов лет.

Нельзя, кроме того, считать, что наиболее глубинными и пронизываемыми рубежами являются границы плит. В действительности обилие новых фактов свидетельствует о том, что так называемые сквозные системы нарушений, отличающиеся длительной историей развития и большой глубиной заложения, в большинстве своем пересекают эти границы, не испытывая изменений.

Нельзя также не отметить, что современные геодезические измерения, указывающие на наличие определенных горизонтальных движений земной коры, не могут быть использованы в качестве свидетельства огромных перемещений плит в течение геологического прошлого. Ведь с таким же основанием их можно рассматривать в качестве одного из импульсов движений, которые могут со временем приобретать обратное направление.

За последние годы слабые стороны новой глобальной тектоники были особенно убедительно вскрыты в работах В.В. Белоусова [6]. Он выдвинул на первый план противоречие, которое возникает в связи с тем, что сторонники этой концепции опираются в основном на геофизические методы, преобладающие в изучении дна океана. В результате обобщения, сформулированные гипотезой тектоники плит, основываются не на чертах длительного развития коры, а на особенностях современных процессов в ней" [6. С. 11]. Таким образом, тектоника плит игнорирует те закономерности развития, которые были установлены в течение долгих десятилетий классической геологией. Так, в частности, большинством сторонников гипотезы отрицается реальность понятия "геосинклиналь", так как с актуалистических позиций нельзя найти критерии для выделения структур, которые могут быть установлены только путем изучения длительной истории земной коры.

Вторым не менее важным препятствием на пути построений "новой глобальной тектоники" являются противоречия, связанные с тем, что предполагаемое движение плит по астеносфере ограничивает глубину, на которой могут находиться источники эндогенных геологических процессов. Эти источники не могут располагаться глубже подошвы литосферы, поскольку любой участок литосферы при ее движении должен быстро от них отрываться. И наконец, В.В. Белоусов справедливо обращает внимание на то, что проблема причин в тектонике плит никак не решена. Обычно упоминается в общей форме о конвекционных потоках в мантии Земли как о причине движения плит, но физически обоснованной схемы такой конвекции не существует. Незавершенность вопроса о причинах предполагаемых закономерностей создает обстановку, способствующую произволу в заключениях исследователей.

Следует, однако, отметить, что сторонники новой глобальной тектоники делают попытки обратиться к расчетам как по вопросу о конвекционных потоках, так и по вопросу о плане прежнего расположения плит, движение которых рассматривается на основе законов сферической геометрии. Однако, поскольку в качестве реперов используются линейные магнитные аномалии, достоверность результатов подобных расчетов не может считаться твердо обоснованной, так как интерпретация магнитных данных сторонниками тектоники плит рядом исследователей признается неправомерной.

В виде альтернативной гипотезы В.В. Белоусов выдвигает представление о существовании в земном шаре глубинных каналов, или зон повышенной проницаемости, по которым происходит всплытие к поверхности несущих с собой тепло глубинных масс. С этим связана и неравномерность проявления тектоно-магматических режимов на поверхности и изменение геологических процессов во времени.

Критическое отношение к гипотезе тектоники плит выразил и Н.Л. Добрецов [14]. Согласно этому автору, дальнейшее развитие теоретической петрологии и тектоники должно учитывать возможность и более сложной и более гибкой системы моделей, чем эта гипотеза. Теория новой глобальной тектоники не разработана по ряду кардинальных вопросов (например, возможность конвекционных потоков в мантии), в ней недостаточно учитываются особенности континентальной геологии. В отличие от нее общая теория должна включать образование и расширение мировой системы рифтов и окраинных морей, сопровождающихся закрытием соседних рифтов, деформацией и утолщением движущихся плит и блоков, разрастанием или отмиранием астеносферных зон, обусловленными системой глубинных течений, с общим их усложнением к поверхности.

Как будет видно из дальнейшего изложения, большой объем нового фактического материала, касающийся в основном магматических и эндогенных рудоносных процессов, гораздо больше согласуется с концепцией В.В. Белоусова и Н.Л. Добрецова, нежели с построениями сторонников тектоники плит. Именно эндогенные процессы ставят на пути этих последних наиболее трудно разрешимые задачи, что позволяет остановиться на этих вопросах несколько подробнее. Так, в подтверждение движения некоторых плит мобилисты привлекают наличие так называемых горячих точек, которые, будучи, согласно этим представлениям, фиксированы в пределах мантии, "вспарывают" движущуюся над ними кору. Во вступлении к русскому изданию упомянутого выпуска журнала "Science" (1984 г.) Л.П. Зоненшайн и А.М. Карасик пишут, что нижняя мантия считается ответственной за появление горячих точек и связанного с ними внутриплитного вулканизма, тогда как конвекция в верхней мантии обуславливает движение литосферных плит. Здесь, однако, нельзя не отметить, что большинство мобилистов обходят молчанием многочисленные факты длительного многоактного проявления эндогенных процессов, фиксированного на площадях, не превышающих в поперечнике 100 км.

Одним из удивительных примеров подобных долгоживущих очагов является вулк. Телертеби на севере Африканского континента [60]. Этот вулкан имеет диаметр основания около 10 км и состоит из двух вложенных друг в друга аппаратов — раннего кембрийского и позднего верхнемелового. Жерловые вулканоплутонические фации Телертеби, связанные с древнейшей кембрийской постройкой, представлены экструзивными рибекитовыми граносиенитами с коагматичными включениями субщелочных, близких к нормальным, существенно калиевых гранитов. Многочисленные радиометрические определения возраста подобных гранитов, выполненные различными методами и по различным породам, дают согласованные цифры их возраста 560—520 млн лет. Жерловая фация сопровождается мощной серией существенно трахитовых лав, разбитых дайками субщелочных и щелочных пород, частично флюоритсодержащих. Непосредственно к северу от вулк. Телертеби встречены мелкие вулканические постройки, перекрытые песчаниками ордовикского осадочного чехла Сахары (верхний арениг по фауне брахиопод). Внутренняя позднемеловая кальдера вулкана сложена трахитовыми туфами и потоками трахитов. Здесь также установлены жерловые интрузии микросиенитов и габбро-сиенитов. Меловой возраст подтвержден остатками флоры. Связь этой сложной вулканической постройки с мантийным источником подтверждается тем, что в районе вулкана развиты неоген-четвертичные щелочные и оливиновые базальты, содержащие включения эклогитов, хромовой шпинели, пироба и алмазов. Подобные факты невозможно увязать с представлениями о том, что за этот период Африка не только двигалась, но и вращалась.

Нельзя, однако, и утверждать, что мобилисты полностью игнорируют упомянутые факты. Одной из попыток их объяснения является, например, утверждение, что в подобных случаях глубокий очаг мигрирует вместе с плитой. Несомненно, однако, что за сотни миллионов лет очаг вулк. Телертеби, оторванный от глубоких мантийных энергетических источников, прекратил бы свое существование. Не спасает положения и выдвигаемое, в частности В.Е. Хаиным, предположение, что нижняя граница плит может располагаться на глубине до 250 км, т.е. в состав плиты может входить и часть верхней мантии. С одной стороны, чем большая мощность плиты постулируется, тем труднее представить себе механизм ее движения и субдукции. С другой стороны, развитие очага вулк. Телертеби, продолжавшееся многие сотни миллионов лет, скорее можно рассматривать на фоне общей эволюции не только самого верхнего слоя мантии, но и всех глубоких оболочек Земли.

Несостоятельна и другая попытка соответствующего объяснения, согласно которой кальдере вулк. Телертеби можно было бы рассматривать как своего рода отдушину, которая в процессе движения плиты неоднократно оказывалась над теми или иными активными мантийными очагами. Не говоря уже о явной искусственности подобного предположения, оно, очевидно, входит в противоречие

с латеральной неоднородностью мантии, в результате которой отдельные импульсы магматической деятельности вулк. Телертеби вряд ли могли бы сохранить близость составов извергавшихся щелочных магм.

Не только магматизм, но и рудообразование являют примеры длительности эндогенных процессов, неоднократно проявлявшихся. По данным Дж. Лича [67], возраст оруденения на свинцово-цинковом месторождении Сьюлливан в Канаде заключен между максимумом 1250 млн лет (по изотопии свинца) и 765 млн лет (по определению возраста внутрирудных даек лампрофиров калий-аргоновым методом). Наряду с этим в третичное время в 100 км от этого месторождения вновь появилось свинцовое рудопроявление. И снова возникает вопрос, как увязать это постоянство проявления рудообразующего процесса с представлением о поддвиге Тихоокеанской плиты под континент. Подобным же образом, по данным английских геологов, в рудном узле Корнуолл оловянно-вольфрамовая и медная минерализация имеет возраст около 280 млн лет, а поздняя, представленная кварц-флюорит-барит-кальцитовой минерализацией с полиметаллами, является третичной. На металлогенической роли подобных долгоживущих очагов мы остановимся более подробно в гл. IV.

Резюмируя все сказанное в этом разделе, подчеркнем два основных положения: 1) использование геодинамических реконструкций, основанных на гипотезе тектоники плит, не дает надежного нового ключа для анализа взаимоотношения оруденения с магматизмом; 2) металлогенические концепции сторонников этой гипотезы базируются в основном на широко известной пространственной и временной ассоциации определенных типов оруденения с теми или иными магматическими формациями. Истолкование этих зависимостей с позиции тектоники плит не дает ничего дополнительно к упомянутым известным эмпирическим закономерностям и не приближает нас к решению насущных задач прогноза при поисках полезных ископаемых.

В заключение обратим внимание на то, что понятие об эвгеосинклинальных прогибах, по существу, не исключает ни одной из геодинамических концепций. Согласно имеющимся представлениям [51], эвгеосинклиналь — это одна из структурных форм, возникающих в процессе деструктивной активизации мегаблоков. И.Н. Томсон включает эвгеосинклинали в качестве закономерных форм развития глобальных концентрических структур. Сторонники тектоники плит относят к элементарным формам субдукции островные дуги и глубокоководные впадины окраинных морей, которые в геосинклинальной концепции относятся к современным эвгеосинклиналям.

Так, в монографии "Магматогенно-рудные системы" (1986 г.) Г.М. Власов относит к главным элементам краевой восточно-азиатской геосинклинали зону Беньофа с выходом в океанических желобах, внешнюю дугу, внутреннюю андезитовую вулканическую дугу, краевые моря, краевой вулканический пояс. В упомянутом выше сборнике "Тектоника плит и полезные ископаемые" (1985 г.)

Л. Бауман сопоставляет этапы геодинамических процессов, выделяемые с позиции тектоники плит с этапами развития эвгеосинклиналей. Во всех этих случаях с ранним эвгеосинклинальным этапом развития (вне зависимости от геодинамической концепции) связан характерный тип толеитового базальтового магматизма и железорудных и медных месторождений, причем среди последних преобладают представители колчеданной формации.

Наряду с этим магматизм и металлогения тыловых зон, возникающих в предполагаемых процессах субдукции, тесно связаны с кислым интрузивным магматизмом и, следовательно, сопоставимы с соответствующими процессами орогенной активизации (а также орогенным этапом развития эвгеосинклиналей). И наконец, процессы континентального рифтогенеза с их базальтовым магматизмом повышенной щелочности и специфической минерализацией железа и его спутников, редких земель, низкотемпературных формаций золота, свинца, цинка, флюорита — это, по мнению сторонников тектоники плит, спутники спрединга, а с позиций геосинклинальной концепции и представлений о явлениях тектоно-магматической активизации — магматические и рудные формации позднеорогенного процесса или переходного этапа от периодов сжатия к периодам растяжения мегаблоков.

## Глава II

### МАГМАТИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ И КОМПЛЕКСЫ И СВЯЗЬ С НИМИ ОРУДЕНЕНИЯ

Изучение магматических формаций как закономерных ассоциаций изверженных горных пород неизменно привлекает усиленное внимание петрологов, тектонистов и металлогенистов. Как известно, одно из направлений формационного анализа, созданное Ю.А. Кузнецовым и его школой, ставит своей задачей выявление близких по составу формационных типов и изучение парагенезисов пород с рассмотрением природы процессов формирования закономерных магматических ассоциаций и сопровождающих их гидротермальных образований. Большое внимание магматическим формациям уделялось также Г.Д. Афанасьевым и в дальнейшем А.М. Борсуком и другими исследователями этой школы. Их исследования были направлены в первую очередь на изучение конкретных магматических формаций как индикаторов изменения тектонического режима. В ходе этих исследований выделяются индикаторные формации, наиболее ярко характеризующие специфические черты, присущие отдельным этапам эволюции Земли.

Несмотря на большие успехи, достигнутые в указанных направлениях, содержание понятия "магматическая формация" и ее отношение с "магматическими сериями" до настоящего времени остается в известной мере дискуссионным. На состоявшемся в апреле 1985 г. в г. Москве научном семинаре В.Н. Москалева [26] определила магматическую формацию как вещественную и структурную ассо-

циацию магматических пород, возникшую в определенной геологической обстановке в связи с определенным геодинамическим режимом. При этом было подчеркнуто, что среди магматических формаций устанавливаются как сложные полисерийные ассоциации, так и моносерийные. Под сериями в этом случае понимаются ассоциации горных пород, характеризующиеся непрерывным и направленным изменением петрографических и петрохимических свойств в ходе эволюции единого магматического расплава. Магматические комплексы являются конкретными проявлениями формационного вида.

Как можно видеть, содержание перечисленных понятий, по В.Н. Москалевой, близко к тому, которое было предложено в 1969 г. в коллективной монографии при участии автора [51], где "магматическая серия" была определена как общность ряда связанных друг с другом постепенными переходами разновидностей горных пород, происхождение которых является результатом дифференциационных процессов конкретных родоначальных магм в определенных физико-химических условиях. Согласно этим построениям, серии — вещественные ассоциации магматических горных пород, которые в отличие от магматических формаций, выделяемых по тектоническому признаку, представляют собой ассоциации магматических пород, сформировавшиеся в границах определенных тектонических структур на протяжении единого этапа тектонического цикла. В связи с этим магматические формации могут быть представлены единой серией, но могут быть и многоочаговыми, гетерогенными, причем слагающие их серии связаны парагенетическим единством, т.е. общностью геологических и физико-химических условий, в которых возникают многочисленные очаги магм данных серий.

Многосерийные гетерогенные магматические формации особенно характерны для сквозных систем нарушений и в их пределах для узлов повышенной эндогенной активности, описанию которых посвящена четвертая глава этой монографии. Взаимоотношения с рудообразующим процессом для таких формаций являются особенно сложными, учитывая, что и рудоносные флюиды могут в этих случаях происходить из разных источников, результатом чего может явиться образование полиформационных рудных месторождений.

Как можно видеть, изучение взаимоотношений магматического и рудообразующего процесса должно осуществляться как в региональном аспекте, на основе абстрактных магматических и рудных формаций, так и путем рассмотрения связей оруденения с конкретными магматическими комплексами.

В последнем случае основные направления исследований включают как собственно геологическое (изучение пространственных и временных соотношений и структурной позиции магматических и рудных образований), так и основанное на выявлении признаков общности вещественного состава тех и других. Существенное значение приобрели за последние годы также попытки экспериментальной проверки рассматриваемых связей. Ниже мы остановимся на каждой группе этих исследований отдельно.

## О ВЗАИМООТНОШЕНИИ АБСТРАКТНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ И РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Существующие представления о связи рудных формаций с формациями изверженных пород были в наиболее общей форме суммированы в недавнее время в трудах школы ВСЕГЕИ [22, 37]. В основу проведенных авторами исследований и обобщений был положен эмпирический подход, учитывающий в первую очередь пространственные и возрастные связи между упомянутыми формациями.

Исследователями этой школы выделяется рудоносная геологическая формация, под которой понимается разновидность геологической формации, обладающая специфическими чертами состава и строения, в пространственной и временной связи с которой генетически или парагенетически находятся промышленно ценные концентрации полезных ископаемых. При этом материнскими рудоносными формациями для гидротермальных месторождений считаются обычно рудогенерирующие интрузивные и интрузивно-вулканогенные образования. Важно отметить, что формационная принадлежность этих образований наряду с характером рудовмещающих пород определяет, по мнению упомянутого коллектива авторов, масштабы оруденения.

На основе выдвинутых положений коллектив ВСЕГЕИ для различных рудных формаций разработал критерии прогнозирования, в числе которых важная роль принадлежит рудоносным интрузиям. Приводимые авторами детальные материалы позволяют им наметить наиболее характерные пространственные и временные ассоциации рудных и магматических формаций. Так, скарново-магнетитовые рудные формации ассоциируют с гранит-гранодиоритовой интрузивной, формация медно-молибденовых порфировых руд с габбро-монцит-сиенит-диоритовой и габбро-диорит-гранодиоритовой интрузивными. Отмечается неизменная пространственная и временная связь медно-никелевых сульфидных месторождений с ультраосновными интрузивами и др. Среди молибденовых рудных формаций штокверкового типа выделяют медно-молибденовую, связанную с габбро-диорит-гранодиоритовой интрузивной формацией, собственно молибденовую, ассоциированную с гранодиорит-гранитовой и молибден-вольфрамовую — с аляскит-гранитовой формациями. Отмечается, что крупные месторождения монометалльных молибденовых руд образуются в районах с особенно интенсивно проявленной магматической деятельностью. В пределах таких районов оруденение приурочено к многофазным интрузивным массивам, сформировавшимся при многократном проявлении близкого по составу гранитоидного магматизма. Специально подчеркивается, что крупные месторождения возникают в процессе длительного и сложного геологического развития региона.

В числе рудных формаций вольфрама также выделяются как связанные с гранитоидами повышенной основности (скарны), так и с аляскитовыми гранитами (вольфрамит-кварцево-грейзеновая фор-

мация). Сходная ситуация описывается для оловянного оруденения. Касситерит-кварцевая грейзеновая формация ассоциирует с лейкократовыми и аляскиотовыми гранитами, а касситерит-силикатная — с многофазными контрастно-дифференцированными ассоциациями гранитоидов, как кислых, так и повышенной основности.

При рассмотрении соответствующих зависимостей для перечисленных и ряда других рудных формаций авторы не касаются генетической стороны установленных закономерностей, а особенности магматизма, отличающие наиболее крупные рудные объекты, отмечают лишь кратко, в отдельных случаях. Следует обратить внимание, что в числе выделяемых авторами рудоносных магматических формаций наряду с моногенными, представленными, например, интрузиями аляскиотов или ультраосновных пород, присутствуют и более сложные по составу — многофазные и контрастно дифференцированные. Среди них, как мы постараемся показать ниже, могут быть представители как единой серии, так и многосерийные образования.

В приведенных построениях коллектива ВСЕГЕИ основное внимание уделялось рудоносности интрузивных формаций. Связи некоторых типов оруденения с вулканогенными формациями посвящена специальная обширная литература. Одним из первых эти вопросы затронул еще В. Линдгрэн. М.А. Усов выделил эффузивную фацию жильных месторождений. Существование вулканического или экстрезивного типа месторождений было рассмотрено также П. Ниггли. На состоявшемся в 1959 г. в Ереване Первом вулканологическом совещании взаимоотношение некоторых типов оруденения с эффузивными формациями было в общем виде рассмотрено в докладе В.Н. Котляра и автора данной монографии [21]. Основные положения этого доклада сводятся к следующему. Большинство из известных месторождений, парагенетически связанных с представителями эффузивных формаций, могут быть подразделены в зависимости от особенностей этих последних на ряд групп.

1. Месторождения олова, полиметаллов и некоторые месторождения золота, связанные с очень кислыми и богатыми калием эффузивами. Эффузивы этого типа часто ассоциируют с предшествующими им субвулканическими, жильными, реже покровными, вулканическими проявлениями повышенной основности. Этот тип вулканизма и сопутствующее ему оруденение связаны с орогенными условиями тектонического развития.

2. Месторождения колчеданные, полиметаллические и золоторудные, связанные с дацитовыми и риолитовыми лавами, богатыми натрием. Для месторождений этой группы обычны серии эффузивных пород с постепенными переходами от более ранних основных к более кислым существенно натриевым представителям заключительных этапов эволюции. Этот тип оруденения по времени своего образования связан с ранними этапами развития геосинклинальных прогибов.

3. Месторождения медноцеолитовой рудной формации, приуроченные к древним геосинклинальным прогибам, связанные с лавами основного состава.

4. Золото-серебряные месторождения с теллуридами. Они ассоциируются с эффузивами андезитового и риолитового состава и с подчиненными им малыми интрузиями. По геологическим условиям проявления они сходны со второй группой. В этой группе среди значительных по масштабу месторождений преобладают молодые неогеновые образования. В настоящее время есть основание считать, что последний из приведенных типов относится к позднеорогенному этапу развития регионов.

#### О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ СВЯЗИ ОРУДЕНЕНИЯ С МАГМАТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Современные представления о связи оруденения с конкретными магматическими комплексами по-прежнему опираются на положения, высказанные в свое время С.С. Смирновым, И.Ф. Григорьевым, В.С. Коптевым-Дворниковым и др., о существовании двух основных типов подобных связей — генетического и парагенетического. Первый тип относится к случаям, когда оруденение отделяется непосредственно из магматического расплава на месте его становления. Наличие парагенетической связи предполагает единство глубинного источника для магматических тел и оруденения. Еще более отдаленным типом связи между магматическими комплексами и оруденением является, согласно Д.И. Горжевскому и В.Н. Козаренко (1966 г.), телегенетический тип. Принципиальное отличие последнего от отдаленных парагенетических связей состоит в сложном комбинированном происхождении рудного вещества, связанном не только с эндогенными процессами, но и с действием экзогенных факторов.

Основные критерии связи оруденения с магматизмом были сформулированы еще в пятидесятые годы Г.Д. Афанасьевым и В.С. Коптевым-Дворниковым для интрузивов. В качестве ведущих признаков при этом были выдвинуты: наличие пространственной ассоциации оруденения и изверженных пород; близость во времени образования; особенности вещественного состава; признаки связи, основанные на особенностях процессов образования магматических комплексов и рудоносных флюидов.

В обширной литературе, посвященной вопросам связи оруденения с магматическими комплексами, проблема вещественной близости, т.е. специализации магматических образований, как одного из важных критериев для установления подобных связей, выделилась в самостоятельную область исследований. В связи с этим целесообразно рассмотреть ее в отдельной главе, сосредоточив здесь свое внимание на собственно геологических критериях. Последние рассматривались в большинстве случаев отдельно для представителей различных фаций: интрузивной, эффузивной и дайковой, несмотря на то что большинство из упомянутых критериев для них близки, хотя и имеют свою определенную специфику.

## Геологические признаки связи оруденения с интрузивными комплексами

Наличие генетических прямых связей оруденения с интрузивным магматизмом удастся наблюдать в относительно редких случаях. Классическим примером подобных взаимоотношений является постепенный переход мелких апофиз интрузий гранит-порфиров в топаз-касситерит-кварцевые прожилки, описанный Ив.Ф. Григорьевым и Е.И. Доломановой на территории Забайкалья [9]. Прямое выделение рудных минералов редкометальной группы из гранитного расплава в процессе ритмичной кристаллизации описывается М.М. Повилайтис (1979 г.). Такая кристаллизация происходит при перерождении анхизтектического, богатого летучими расплава. В процессе его ритмической кристаллизации накапливаются рудные компоненты. Автор предлагает рассматривать подобные дифференциаты как частный случай "рудного очага", возникшего вследствие отклонения от обычного развития позднемагматического процесса.

В недавнее время к доказательствам возможности рассмотрения гранитоидов в качестве рудогенерирующих источников обратился на материале разновозрастных интрузивов Полярного Урала В.Н. Охотников (1985 г.). Помимо известных косвенных доказательства подобной связи, этот автор выдвигает следующие (с его точки зрения бесспорные): 1) направленность эволюции магматических расплавов в сторону отделения от них все более кислых образований; 2) сходная с кремнекислотным обогащением направленность накопления рудных элементов от ранних к поздним магматическим дифференциатам и совпадение во времени максимальной концентрации металлов с заметным увеличением содержания кремнекислоты в горных породах; 3) аналогичная тенденция в накоплении щелочей.

Непосредственные переходы между магматическими породами и кварцевыми обособлениями в них, содержащими скопления рудных минералов, и переход этих обособлений в редкометальные рудные жилы наблюдался В.Н. Охотниковым в Садатаяхинской гранитной интрузии кембрийского возраста. В Харбейской раннеордовикской интрузии, представленной более ранними лейкократовыми гранитами и сменяющими их аляскитами, оруденение приурочено к забандам жил плагиигранит-порфиров, секущих граниты обеих фаз. Плагиигранит-порфиры по направлению к контактам дают постепенные переходы к мусковит-кварцевым оторочкам с кальцитом, а последние вкрест простираения и по восстанию переходят в слюдяно-кварцевые рудоносные жилы.

Однако, приводя аргументы в пользу генетической связи оруденения с гранитами, В.Н. Охотников отмечает, что главная рудная зона Харбейского месторождения представлена мощными кварц-мусковит-молибденовыми жилами, не имеющими видимой связи с дайками плагиигранит-порфиров. Кроме того, "рудность" Харбейского интрузива, отличающая его от другой "безрудной" интрузии того же возраста, объясняется ее полифазностью, что, в свою очередь, является следствием приуроченности к долгоживущей поперечной мобильной структуре.

Все перечисленные наблюдения, однако, свидетельствуют только о потенциальной возможности отделения некоторого количества рудных элементов от магматического расплава и не могут служить аргументом в пользу генетической связи их промышленных скоплений с теми или иными магматическими комплексами. В последнем случае анализ подобных связей опирается, как было отмечено выше, помимо вещественных критериев, на установление пространственной и возрастной близости магматических и рудных образований.

Многочисленные данные позволяют утверждать, что наиболее тесные связи упомянутого рода характеризуют высокотемпературное редкометальное оруденение. Однако и в тех случаях, когда пространственная и возрастная близость его с магматическими комплексами может считаться доказанной, возникает ряд противоречивых обстоятельств, препятствующих выводу о генетической природе подобных связей, или, иными словами, представлению о том, что источником оруденения являются интрузивные очаги.

К рассмотрению этого вопроса следует в первую очередь привлечь обширную литературу по редкометальным месторождениям Центрального Казахстана. Именно на этих объектах в пятидесятые и шестидесятые годы целым рядом исследователей (В.С. Коптев-Дворников, Е.Н. Негрей, Д.В. Рундквист, Н.Г. Щерба и др.) были проведены детальные работы, позволяющие судить о пространственных и возрастных соотношениях рудообразующих процессов с процессами формирования сложных магматических комплексов. При этом большое значение имели выдвинутые в 1952 г. В.С. Коптевым-Дворниковым и впоследствии развитые Е.В. Негрей представления о роли дополнительных интрузий и даек первого и второго этапа в становлении эндогенных образований крупных рудных узлов. Согласно упомянутым авторам, схема развития магматического и рудного процессов на редкометальных месторождениях Центрального Казахстана выглядит следующим образом: граниты главной интрузивной фазы— жильные граниты (первая генерация) — дополнительные интрузии (первая и вторая генерации)— жильные граниты (вторая генерация, связанная с дополнительными интрузиями)—пластовые тела и штоки гранитов—крутопадающие дайки жильных гранитов и аплитов (третья генерация)—высокотемпературные кварцевые рудные жилы и грейзены—пострудные и внутрирудные аплиты—дайки второго этапа (повышенной основности)—низкотемпературные кварцевые рудные жилы.

Оруденение ассоциирует в пространстве с дополнительными интрузиями. Согласно упомянутым авторам, их признаки: небольшие объемы, более лейкокатовый состав по сравнению с породами главной фазы, высокое содержание летучих, разнообразие и неустойчивость состава и структур, повышенное содержание элементов редкометальной группы (Be, Sn, Mo, W) и накопление редких щелочей (Li, Rb, Cs). Предполагается, что рудный процесс связан с дифференциацией всего объема интрузивного тела, а дополнительные интрузии и жильные граниты представляют собой дифферен-

циаты внутренних, еще неостывших частей расплава, внедряющиеся в верхние, уже застывшие части интрузива. Пространственная связь оруденения с дополнительными интрузиями и структурный контроль, осуществляемый последними, рассматриваются как унаследование тектонических путей, что не представляется достаточно убедительным, так как внедрение дополнительных интрузий должно было, с нашей точки зрения, скорее цементировать тектонические пути, чем их приоткрывать.

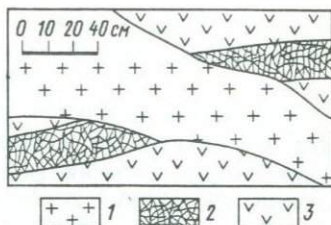
Позднее особенности связи редкометального оруденения Центрального Казахстана с гранитоидами акчетаусского пермского комплекса были подробно изучены Д.В. Рундквистом и его соавторами [38]. В составе комплекса широким развитием пользуются лейкократовые, биотитовые и аляскитовые граниты. Акчетаусские граниты слагают как самостоятельные массивы, так и небольшие тела среди более ранних гранитоидов. Оруденение присутствует или непосредственно в гранитах, или в надинтрузивных зонах и представлено участками рудоносных грейзенов, кварцево-рудными жилами, штокверками, а также полями метасоматически измененных альбитизированных и грейзенизированных гранитов. Господствующими рудными компонентами являются вольфрам, молибден, висмут и олово. Рудообразованию предшествуют процессы грейзенизации в гранитах и породах кровли. Оруденение заключено в вилку между ранней альбитизацией и завершающей грейзеновый этап развития микроклинизацией. Д.В. Рундквистом и его соавторами произведен целый ряд детальных наблюдений над соотношениями рудной минерализации с магматическими и постмагматическими образованиями. Установлено, что месторождения, расположенные в кровле интрузивов, тяготеют к купольным выступам последних и к зонам полого погружающихся контактов. Месторождения, локализованные непосредственно в интрузивах, приурочены к их периферическим частям и участкам погружения контактов. В этих случаях купольные выступы бывают уничтожены эрозией.

Из числа последовательных фаз акчетаусских комплексов оруденение приурочено к наиболее поздней фазе, представленной средне-мелкозернистыми лейкократовыми гранитами. Последние тяготеют к эндоконтактовым частям массивов или располагаются зонами или цепочками вдоль тектонически ослабленных направлений. Особый интерес представляет многократность внедрения исходных расплавов мелкозернистых лейкократовых гранитов. Так, на месторождении Кара-Оба внедрение даек и пластовых тел последних разделяет периоды с характерной рудной минерализацией — молибденовой в первом периоде, молибден-вольфрамовой во втором и комплексной молибден-висмут-вольфрамовой в третьем (рис. 1).

Переходя непосредственно к вопросу о генетическом или парагенетическом характере связи оруденения с гранитоидами акчетаусского комплекса, авторы последовательно рассматривают признаки, как говорящие в пользу первого предположения, так и противоречащие ему. Свидетельством прямой связи оруденения с интрузиями многие исследователи считают: а) зональное расположение

Рис. 1. Пересечение дайкой мелкозернистых гранитов кварцевой жилы с молибденитом на месторождении Кара-Оба (по С.В. Ефремовой)

1 — мелкозернистый гранит, предшествующий молибден-вольфрамовой минерализации; 2 — кварцевая жила с молибденитом; 3 — порфирировые метариолиты раннего—среднего девона



редкометалльной минерализации вокруг гранитного массива; б) приуроченность оруденения к апикальным частям и куполовидным выступам этих последних. Однако, как справедливо отмечают Д.В. Рундквист и его соавторы, наличие прямых связей противоречат следующие факты.

1. Тесная пространственная связь оруденения с наиболее поздними лейкократовыми разностями гранитных комплексов, слагающими тела небольших размеров; крупные же интрузии, которые только и могли содержать значительные количества воды и летучих, были бесплодны.

2. Развитие минерализации происходило значительно позднее формирования наиболее молодых разностей гранитоидов, после полной их раскристаллизации.

3. Оруденению предшествуют дайки мелкозернистых гранитов, аплитов, пегматитов, внедрившихся в застывшие граниты.

4. Рудные тела контролируются не трещинами прототектоники, а системами нарушений, наложенными на граниты по тому же плану, что и постскладчатые разрывные текстуры.

На роль внешних тектонических усилий в образовании дорудной трещинной решетки на месторождении Кара-Оба указывает также Г.Н. Щерба (1980 г.). К этому следует добавить, что зональное расположение оруденения вокруг гранитного массива само по себе не может служить аргументом в пользу прямой генетической связи между ними. Причина подобной зональности может заключаться во влиянии медленно остывающего гранитного массива на характер прогрева вмещающих горных пород.

Учитывая перечисленные противоречия, Д.В. Рундквист и его соавторы приходят к компромиссному заключению, согласно которому наиболее поздние граниты образуются в результате переплавления, перекристаллизации и метасоматоза преимущественно в купольных частях гранитов под влиянием местного повышения давления и температуры, как следствия проникновения летучих. Это важное само по себе положение приводит, однако, авторов к весьма дискуссионному заключению о возможном источнике оруденения. Согласно их концепции, источник растворов можно видеть в крупных гранитных массивах или даже в их корневых частях, металлы же рассматривать как мобилизованные из самих гранитов в процессе их последующего преобразования. Однако, если бы это было так, осталась бы необъяснимой приуроченность оруденения к региональным разломам, не говоря уже о том, что очень трудно себе представить извлечение

металлов из всего объема застывшего массива поступающими из его корневых частей флюидами.

Таким образом, весь приведенный материал по особенностям взаимоотношения редкометальных месторождений Центрального Казахстана с гранитными комплексами свидетельствует о значительной оторванности времени формирования продуктивного оруденения от времени застывания крупных гранитных интрузий. Причины его временной и пространственной ассоциации с наиболее поздними внедрениями гранитного расплава (дополнительными интрузиями по В.С. Коптеву-Дворникову) при одновременном контроле наложенной разрывной тектоникой наиболее убедительно объясняются предположением Д.В. Рундквиста о возникновении насыщенных летучими выплавом под действием постмагматических флюидов. Глубинный источник и длительность проявления последних позволяет легче понять существенные масштабы оруденения, чем гипотеза об извлечении рудных элементов из гранитного массива. Если это так, то есть основание рассматривать гранитные комплексы как закономерные звенья сложного эндогенного процесса, формирующего значительные по масштабам рудные месторождения.

Еще более отдаленными выглядят подобные связи для средне- и низкотемпературных рудных формаций. В качестве примера остановимся на соответствующих особенностях некоторых оловорудных и свинцово-цинковых месторождений Приморья, недавно специально затронутых нами в печати [56]. Имеющиеся факты привлекают все больше сторонников к той точке зрения, согласно которой оловянное оруденение касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций, так же как и свинцово-цинковая минерализация соответствующих месторождений Приморья, не имеют прямых связей с гранитами. Указывается на наличие парагенетической связи оруденения с дайками повышенной основности, продуктами позднего проникновения базальтоидных лав из глубинного источника. Вместе с тем при рассмотрении этого вопроса нельзя игнорировать факт присутствия под большинством месторождений перечисленных рудных формаций интрузий аляскитовых гранитов. Эти последние, так же как и упомянутое оруденение, занимают вполне определенное место в интенсивных эндогенных процессах верхнего мела и кайнозоя, связанных с формированием краевого вулканического пояса Сихотэ-Алия.

Изучение третичных интрузивных комплексов Приморья привело нас ранее к выводу, что ассоциация пород — ранние габброиды или монцитонитоиды — нормальные биотитовые граниты — аляскитовые граниты — является устойчиво повторяющейся. При этом среди интрузий повышенной основности велика роль гибридных разностей, образовавшихся в процессе контаминации гранитных расплавов. Состав и данные абсолютного возраста (55 млн лет) позволяют сопоставлять аляскиты упомянутых комплексов с их разностями, обнаруживаемыми в пределах рудных полей. Устойчивая связь аляскитов с интрузиями повышенной основности объясняет отмеченную С.С. Смирновым и Я.Д. Готманом пространственную ассоциацию последних с месторождениями касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной

формаций, что позволило нам еще в середине пятидесятых годов предсказать вероятное присутствие невоскрывших интрузивов аляскитов в рудных полях упомянутых месторождений.

Пространственная связь рассматриваемых типов оруденения с аляскитами в Приморье не вызывает сомнения, столь же убедительны факты, свидетельствующие о значительной разобщенности во времени этапов гранито- и рудообразования. На всех месторождениях здесь широко развиты серии даек, представленных разностями основного, среднего и в отдельных случаях кислого состава. Среди даек рудных полей установлены три генерации: дорудная, внутриминерализационная и пострудная. Последняя представлена базальтами и по времени, по-видимому, оторвана от рудообразования. На участках рудных полей, являющихся надинтрузивными зонами, дайки средних и основных пород разных генераций отличаются последовательно увеличивающейся от ранних к более поздним степенью закалки при близких мощностях. Все дайки этой группы испытали интенсивные изменения пропилитового типа.

Наряду с дайками на многих месторождениях (Дубровском, Высокогорском и др.) установлены взрывчатые брекчии. На месторождении Высокогорском, согласно В.М. Рябченко, В.Т. Ковшару и В.П. Полохову, присутствуют брекчии двух генераций. Первая из них является дорудной по отношению к касситерит-турмалиновому оруденению ранней стадии, вторая содержит обломки касситерит-турмалиновой оруденелой породы. На эту брекчию накладывается позднее сульфидное оруденение (рис. 2). Факт, что во многих случаях взрывчатости выносятся на поверхность обломки гранитов, свидетельствует о том, что скопление флюидов, послуживших причиной взрыва, происходило в гранитном очаге под кровлей его апикальной части, испытавшей раннюю консолидацию.

Исходя из всего изложенного, есть основание рассматривать аляскиты рудных полей Приморья в качестве членов сложных магматических комплексов. Формирование этих последних начиналось с внедрения основных магм в процессе оживления глубинного очага эндогенной активности. В дальнейшем под влиянием теплового воздействия и потока флюидов, связанных с упомянутым процессом, происходило образование палингенных гранитных магм и их последующая контаминация материалом основных пород и дифференциация. При этом поздние аляскитовые отщепления обогащались летучими и рудными компонентами и, возможно, служили источником незначительного по масштабу оруденения кварц-касситеритовой и грейзеновой формации. Однако продуктивные касситерит-силикатное, касситерит-сульфидное и свинцово-цинковое оруденения были оторваны от аляскитов по времени образования. Свидетельством этому являются закаленные контакты дорудных даек гранит-порфиров, внедрявшихся в успевшие охладиться аляскитовые массивы, а также присутствие обломков аляскитов в дорудных взрывчатых брекчиях. В результате есть основание рассматривать аляскиты, расположенные на глубине в рудных полях касситерит-силикатных, касситерит-сульфидных и свинцово-цинковых месторождений, не в качестве

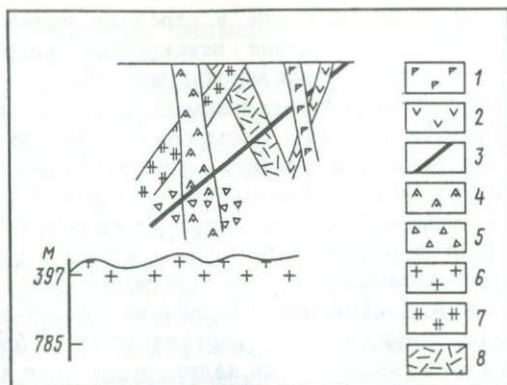


Рис. 2. Схема взаимоотношения гранитов и оруденения на месторождении Дубровском (составлена по материалам В.В. Анахова)

1 — диабазы; 2 — диоритовые порфиры; 3 — касситерит-сульфидные жилы; 4 — андезит-дацитовые порфиры; 5 — оруденелая брекчия; 6 — гранит; 7 — дацитовые порфиры; 8 — фельзиты

источника перечисленных типов оруденения, а всего лишь как закономерное звено в сложных магматических процессах узлов длительной эндогенной активности.

Представители наиболее существенных для Приморья оловорудных и скарновой свинцово-цинковой формаций связаны с более поздним импульсом активизации, который характеризовался, с одной стороны, неоднократным поступлением из глубинного очага основных магм, с другой — потоком летучих мантийного происхождения, накопление которых под экраном консолидированной апикальной части гранитного интрузива и пород его кровли привело к эксплозивным явлениям. Интенсивная пропилитизация даек основного и среднего состава, имеющая аутометасоматический характер, позволяет предполагать, что до своего застывания последние служили каналами для флюидов второго этапа рассматриваемого процесса. Высокое содержание в магмах основного состава летучих способствовало понижению температуры их застывания, и этим, возможно, следует объяснить отсутствие зон закалки у ранних генераций диабазов и диорит-порфиритов на контакте с испытывавшими повторное прогревание гранитами и породами кровли.

Не останавливаясь дольше на геологических аспектах связи рудных месторождений с интрузиями гранитного состава, приведем некоторые краткие сведения о рудоносности интрузий повышенной щелочности. Этому вопросу был посвящен ряд статей в сборнике "Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации" [32]. В статьях А.И. Гинзбурга, Г.П. Луговского, И.Н. Тимофеева и других связь тантала, ниобия, лития и других редких металлов с интрузиями повышенной щелочности рассматривается на фоне интенсивных аутометасоматических процессов, выраженных в широком развитии альбитизации и грейзенизации с образованием топаза и литий-железистых слюд. Выдвигается представление о миграции лету-

чих компонентов (в основном Li, Rb, H<sub>2</sub>O, F) в верхние этажи магматической камеры, в области более низкого давления. Завершение кристаллизации и начало постмагматических изменений были сближены во времени. Последующие магматические изменения совершались, согласно Г.П. Луговскому, И.Н. Тимофееву и др., при участии остаточных поровых растворов щелочно(преимущественно натрий)-фторидного состава. Упомянутые авторы считают, что накопление редких элементов происходит на магматическом этапе, а образование соответствующих минералов на постмагматическом. В то же время А.И. Гинзбург отмечает, что гипотеза мобилизации и переноса рудных элементов при метаматматическом процессе из самих гранитов противоречит отсутствию на гипотезе соответствующих зон выщелачивания. Для разновидности арфведсонит-рибекитовых редкометалльных гранитоидов этим автором допускается возможность значительного привноса щелочных растворов и рудных элементов из глубин, а также возможность селективной выплавки гранитов из гнейсов в условиях ультраметаморфизма. При этом возникают гидротермально-метаморфические рудоносные растворы, обогащенные калием, летучими и рудными элементами.

В целом, таким образом, можно сделать заключение, что группа редких элементов, ассоциированная с гранитоидами повышенной щелочности, более тесно связана с ними в генетическом отношении, чем группа, ассоциированная с нормальными и аляскитовыми гранитами.

### Геологические признаки связи оруденения с вулканическими образованиями

При обсуждении особенностей связи некоторых типов оруденения с вулканическими образованиями обычно рассматриваются те же основные вопросы, что и для интрузивов. Здесь в первую очередь мы имеем дело с альтернативой генетических или парагенетических зависимостей оруденения и вулканических объектов. При отсутствии прямых связей большая роль принадлежит установлению общности и пространственной и временной близости вулканических тел и рудных проявлений. На упомянутом выше Первом Всесоюзном вулканологическом совещании в 1959 г. в Ереване эти вопросы были затронуты в докладе В.Н. Котляра и автора данной монографии. При этом было специально отмечено существование переходов от месторождений, связанных с эффузивами, к тем, что приурочены к породам жерловых фаций. Это, в свою очередь, позволяет наметить единый ряд между месторождениями, ассоциированными с представителями эффузивной фации магматизма, с одной стороны, и интрузивной — с другой. В качестве примера прямых связей были приведены результаты исследований М.И. Ицксона на оловорудных месторождениях Малого Хингана. В группе этих месторождений наряду с теми, которые связаны с гранит-порфирами и кварцевыми порфирами парагенетически, существуют объекты, на которых часть касситерита образовалась в результате бурного, местами взрывного выделения газов из

богатой летучими компонентами кислой магмы, поднявшейся в близ-поверхностную зону. Прямые связи с субвулканическими телами были отмечены также для некоторых бедных оловорудных проявлений Приморья, где касситерит присутствует в микролитовых пустотах соответствующих кислых пород. Однако в подавляющем большинстве случаев взаимоотношения определенных типов оруденения с вулканическими телами являются более сложными. Особенности подобных связей были рассмотрены в докладах на Межведомственном совещании по рудоносности вулканогенных формаций, состоявшемся в г. Москве в 1963 г. На совещании был вновь поднят вопрос о тесной сопряженности между интрузивными и эффузивными проявлениями магматизма, которые Е.К. Устиевым были объединены в вулcano-плутонические формации. В докладе автором настоящей монографии были последовательно рассмотрены критерии, позволяющие устанавливать пространственную и возрастную близость определенных типов оруденения с эффузивами. Так, одним из видов пространственной ассоциации является непосредственная приуроченность к аппаратам потухших вулканов и к специфическим структурам, сопровождающим эруптивные процессы, или к контактам субвулканических тел.

Пространственная ассоциация некоторых типов оруденения со специфическими структурами вулканических центров была подробно исследована в ряде работ В.Н. Котляра (1963—1968 г.). Согласно этому автору, для рудных месторождений, связанных с вулканогенными образованиями выделяются три главных этапа в развитии структур рудных районов и полей: первый — довулканический этап формирования вулканоконтролирующих разломов и блоковых структур; второй — этап формирования вулканогенных комплексов и связанных с ними вулканических структур; третий — этап формирования наложенных на магматические образования трещинных и разломных структур, наследующих ранние разломы. Рудная минерализация обычно протекает после третьего этапа, иногда захватывая конечные стадии второго (рис. 3).

Среди вулканических структур второго этапа В.Н. Котляр выделяет различные типы внутрижерловых трещин — кольцевых, конических и линейных. Наряду с собственно жерловыми структурами соответствующих месторождений, обусловленными проникновением рудоносных растворов по путям вулканических выбросов и излияний (рис. 4), отмечаются рудоносные структуры оседания вулканических продуктов в жерлах, структуры экранирования в связи с закупоркой вулканических жерл. Благоприятные литологические условия создаются благодаря резко различной проницаемости вулканических брекчий, туфов, лав и иных участвующих пород. В качестве примеров подобных соотношений в различных работах приводились структурные особенности представителей различных рудных формаций. Так, было отмечено, что к вулканическим жерлам приурочены некоторые оловорудные месторождения Забайкалья, Приморья и др. Для месторождений этого типа чрезвычайно существенны особенности морфологии магматических тел, нередко контролирующие локализацию оруденения.

В условиях завершенной складчатости и доминирующей роли раз-

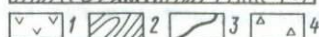
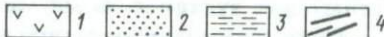
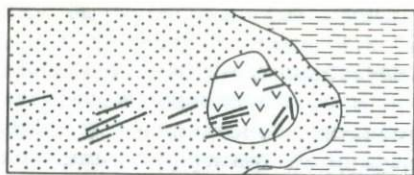


Рис. 3. Вне- и внутрижерловые линейно-трещинные структуры месторождения Корулька (по Ф. Альфельду)

1 — вулканические брекчии; 2 — туфы; 3 — глинистые сланцы; 4 — оловорудные жилы

Рис. 4. Внутрижерловая сопряженная структура. Разрез через медное месторождение Ашио (по Т. Ватанабе)

1 — липариты; 2 — сланцы; 3 — рудные жилы; 4 — эруптивные брекчии

рывных нарушений субвулканическим и жерловым образованиям обычно свойственна сложная, причудливая морфология. Наблюдаются переходы от штоков и трубок к пластовым залежам, дайкам, лакколлитам, покровам и различным телам неправильной формы. Установлено, что некоторые типы оруденения контролируются подобными магматическими телами, приурочиваясь к их контактам. Интересным примером подобных соотношений является рудопоявление ключа Светлого (группа Дальнегорских месторождений в Приморье). Здесь линзы с сульфидным свинцово-цинковым оруденением приурочены к контактам сложного разветвленного тела кварцевых порфиров, прорывающих третичные эффузивы.

К вулканическим жерлам тяготеют проявления золото-серебряной формации Балкан, некоторые оловорудные месторождения Боливии и др. К этой же группе были отнесены месторождения, приуроченные к эффузивным покровам, связанным переходами с дайками и субвулканическими телами. К типичным представителям подобных месторождений относится группа свинцово-цинковых и серебряных месторождений Мексики (Санта-Барбара, Санта-Эввалия, Эсмеральда и др.). К одному из наиболее характерных типов вулканогенных принято относить, как известно, колчеданные рудные формации. Основываясь на накопленном к настоящему времени обширном фактическом материале, М.Б. Бородаевская и А.И. Кривцов (1985 г.) отмечают, что потенциальные рудные поля подобных месторождений совпадают с полями распространения кислых магматических дифференциатов, представленных обычно экструзивными куполами, сочетающимися с лавовыми потоками и туфовыми толщами.

В настоящее время в рифтовой зоне Тихого океана на ряде участков установлено поступление рудоносных флюидов в виде так называемых черных курильщиков. Обзор имеющихся данных, сделанный недавно А.А. Ковалевым и С.А. Ушаковым (1985 г.), позволяет судить о том, что подобные фонтаны являются источником колчеданных залежей, сложенных в основном сфалеритом и пиритом, но содержащих также халькопирит и сульфиды некоторых других элементов. Оруденение

этого типа ассоциировано с вулканической деятельностью на дне океана.

В настоящее время имеется также обширная литература о металлогенности, связанной с современными действующими вулканами. Этому вопросу, в частности, посвящена монография С.И. Набоко [27]. В ней приведены многочисленные примеры обогащенности рудными элементами как конденсатных вод вулканов на магматической стадии их активности, так и гидротерм на гидротермальной стадии. Так, в термальных водах действующего вулк. Эбеко на Курильских островах присутствует цинк в высоких концентрациях (0,4—0,72 мг/л), в несколько меньшем количестве свинец, а также медь, молибден и некоторые другие рудные элементы. Особого внимания заслуживает увеличение концентрации мышьяка, бора, фтора и фосфора, определенных в термальных водах вулк. Эбеко перед его извержением в 1963 г., что указывает на активное участие летучих и минерализаторов в эруптивном процессе.

Все сказанное свидетельствует о тесных пространственных и структурных признаках связи определенных типов оруденения с вулканическими образованиями, а также в некоторых случаях о их возрастной близости. Тем не менее В.Н. Котляр подчеркивал неправомочность предположения о происхождении рудоносных растворов за счет магматических пород. По его мнению, источником растворов были более значительные магматические массы, располагавшиеся на той или иной глубине.

В.Н. Котляр был также в числе первых исследователей, обративших внимание на роль взрывных вулканических брекчий в размещении соответствующих типов рудных месторождений. Среди рудоносных образований, сопровождающихся взрывами, он выделяет несколько типов.

1. Экструзивные (жерловые) комплексы, выполненные экструзивами, туфовыми породами и лавовыми брекчиями.

2. Экструзивно-интрузивные комплексы, представленные, кроме пород экструзий, также несколько более поздними малыми штокообразными интрузиями, выполняющими полностью или частично вулканические жерла. Часто экструзии непосредственно связаны с силлами.

3. Экструзивно-даймовые комплексы, характеризующиеся экструзивными (а также экструзивно-интрузивными или интрузивными) образованиями, выполняющими жерла с отходящими от них по разломам и трещинам дайками, образующими вместе с ними единые паукообразные тела или серии последовательных даек, сконцентрированных вокруг одного центра.

4. Экструзивно-интрузивные комплексы центрально-конического типа с центральными и коническими интрузивами.

5. Трубки взрыва, выполненные эруптивными брекчиями, встречающиеся в гранитных массивах среди других кристаллических пород.

6. Трубки взрыва, выполненные карбонатитами.

Ссылаясь на более ранние работы М.Б. Бородаевской и Н.В. Петровской в районе Ключевского месторождения, Д.В. Тимофеевского по Дарасуну и на данные зарубежных геологов, В.Н. Котляр подчер-

кивает тесную ассоциацию взрывных брекчий с выходами гранитоидов и отмечает быстрый рост данных о месторождениях, ассоциированных с вулканическими жерлами и трубками взрыва. К настоящему времени накоплен весьма обширный материал, позволяющий заключить, что участие взрывных брекчий в процессах рудообразования является, по существу, одной из наиболее общих закономерностей. Брекчии такого типа отмечались на золоторудных, полиметаллических, оловянных, медных и многих других месторождениях.

Обращаясь к закрытым взрывам, сопровождающим гипабиссальные интрузии, и к их роли при формировании рудных месторождений, П.Ф. Иванкин (1965 г.) писал, что обломки в взрывных брекчиях представлены обычно всеми теми горными породами, которые вмещают их залежи, в том числе и породами материнских интрузий и различными гидротермалитами. Изредка отмечаются обломки отсутствующих на поверхности гранитов. Автор подчеркивает, что автобрекчирование гипабиссальных интрузий, автометасоматоз магматических пород и рудоотложение часто обнаруживают между собой тесную пространственно-временную связь, которая несомненно указывает на генетические взаимоотношения этих явлений. Взрывные брекчии являются, как правило, спутниками дифференцированных интрузивных комплексов с многофазным строением и отвечает заключительному периоду их становления с проявлением магм, богатых щелочами, летучими и рудными компонентами.

Начиная с 1974 г. ряд целенаправленных публикаций по вопросам связи закрытых взрывных и рудных процессов был осуществлен Г.И. Туговиком [49]. Структуры, образующиеся под влиянием закрытых взрывов, получили от этого автора название флюидно-взрывных структур (ФЭС). Характеризуя их, Г.И. Туговик отмечает, что ФЭС служат главными рудовмещающими телами на многих, в том числе крупнообъемных, рудных месторождениях (редких металлов, Au, Pb, Zn, Fe, Cu, Ni и др.). ФЭС, образовавшиеся в разной геоструктурной обстановке, имеют общие черты (особенности морфологии, протяженности на глубину, характера распределения минерализации, последовательности формирования).

Формирование ФЭС обусловлено взрывообразным (кессонно-взрывным) воздействием отделяющихся от магматического очага в течение длительного геологического времени газовой-жидкой флюиды. При фокусированном давлении по принципу гидроудара эти флюиды образуют брекчиевое взрывное тело, представляющее собой локализатор минерализации. Флюидизация и усадка при кристаллизации магматического очага являются причиной широко распространенного у ФЭС распределения обломков по их гравитационной крупности (обрушение крупных глыб на фоне восходящего потока мелкообломочного материала).

Участками развития ФЭС являются тектонически ослабленные зоны земной коры различной глубины заложения, особенно кольцевого строения. При их формировании возникает концентрическая и радиальная трещиноватость (рис. 5). Рудовмещающими по периферии ФЭС являются, кроме того, региональные тектонические разрывы и бла-

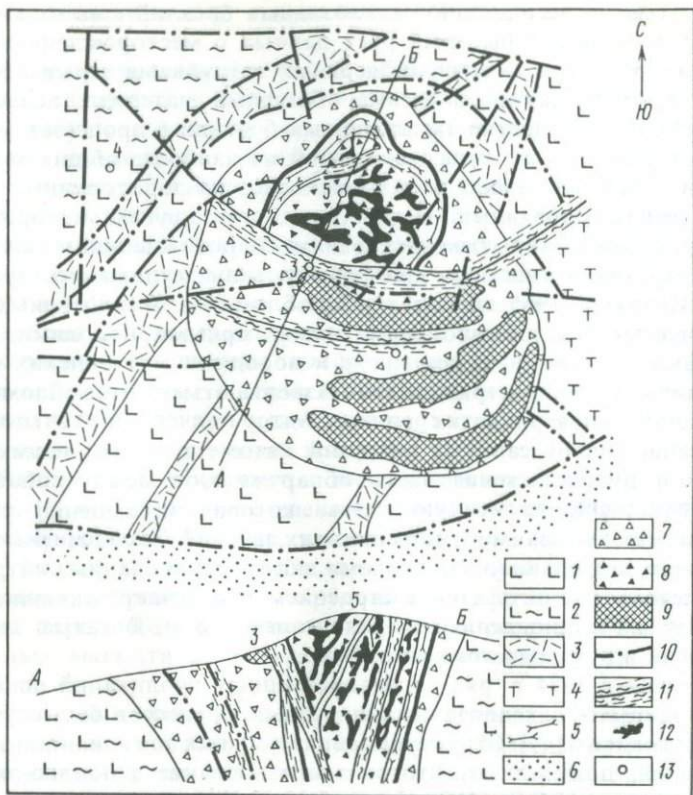


Рис. 5. Схема строения рудного месторождения связанного с флюидно-эффузивной структурой (по Г.И. Туговику)

1—3 — нижнепалеозойские осадочно-вулканогенные отложения; 1 — диабазовые порфиры, 2 — то же, расланцованные, 3 — фельзиты; 4 — нижнемезозойские осадочно-вулканогенные образования (фельзиты, фельзит-порфиры, андезиты, трахиандезиты); 5 — верхнемезозойские кварцевые порфиры; 6 — верхнемезозойские осадочные породы (конгломераты, песчаники и др.); 7 — полимиктовые брекчии I этапа формирования ФЭС; 8 — окварцованные брекчии II этапа формирования ФЭС; 9 — жилы халцедоновидного кварца; 10 — разломы; 11 — зоны милонитизации; 12 — тела сплошного кварца; 13 — скважины

поприятные стратиграфические горизонты, а внутри их минерализация образует оруденелые брекчии или развивается по системам наложенных трещин (рис. 6). Вслед за М.М. Константиновым (1977 г.) автор считает необходимым выделять три типа брекчиевых руд: тектонический, метасоматический и флюидно-эксплозивный.

Метасоматические рудные брекчии формируются за счет проникновения по трещинам и замещения рудными минеральными ассоциациями вмещающих пород. ФЭС происходят в подземных условиях и представляют собой взрывные явления, при которых газовые и газово-жидкие флюиды при своем кессонно-эксплозивном развитии нарушают сплошность горной породы, и образующаяся при этом брекчия либо остается на месте, либо перемещается и перемешивается.

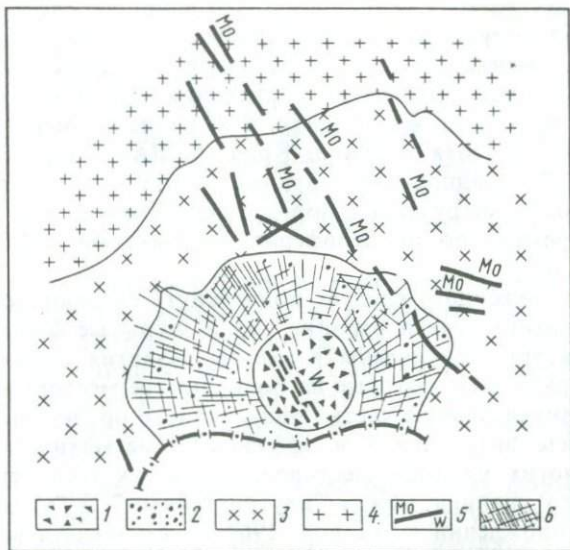


Рис. 6. Взаимоотношение жил с молибденовой и вольфрамовой минерализацией в Булуктаевской ФЭС (по Г.И. Туговику)

1 — брекчии ФЭС; 2 — зона брекчирования и мусковитизации вблизи ФЭС; 3 — монзониты неизмененные; 4 — аляскисты; 5 — молибденовые и вольфрамовые жилы; 6 — ориентировка локальной трещиноватости по периферии взрывного тела

Для них характерны воронкообразные формы брекчиевых тел, наличие отдельных апофиз и дайкоподобных тел, часто рассекающих трубчатые тела, слепое выклинивание последних и их апофиз по восстанию и переход в дайки интрузивных пород по падению. Характерна также высокая инъекционная способность брекчиевого материала, обуславливающая его проникновение в тончайшие трещины. К постоянным признакам относятся наличие радиальных и кольцевых трещин, возникающих при развитии брекчиевых тел, и состав цемента из более тонкой фракции того же материала, что и крупные обломки, частая округлая форма обломков за счет дезинтеграции и трения. При этом полимиктовом составе брекчий наблюдается их хаотическое перемешивание с опусканием вышележащих пород и воздыманием в верхние горизонты самых глубинных экзотических пород. Отмечено разделение этапов формирования брекчий внедрением магматических пород и наличие в их составе продуктов пневматолито-гидротермальной деятельности при глубинном источнике рудного вещества. Примером подобных соотношений могут служить приведенные выше описания оловорудных месторождений Приморья, где взрывные брекчии играют существенную роль (см. рис. 2).

По составу пород, выполняющих ФЭС, выделяют три их типа: I — тела, сложенные мономиктовой неперемещенной брекчией — обломки и цемент аналогичны вмещающим породам. Они характерны для золоторудных и редкометалльных месторождений; II — тела, сложенные полимиктовой брекчией. Состав обломков и цемента зависит

от состава рассекаемых ФЭС пород. Это наиболее распространенный тип ФЭС золоторудных, редкометалльных и других месторождений; III — тела, сцементированные интрузивной породой с полимиктовым составом обломков. Иногда возникновению флюидно-эксплозивных тел предшествуют кольцевые дайки. В качестве примеров приводятся месторождения золота Криппль-Крик (США), полиметаллическое Актюз (СССР), меднорудное Браден (Чили); IV — тела в виде некков и штоков интрузивных пород с реликтивными участками полимиктовых брекчий по их периферии — Шахтама (СССР), Коппер Квин (США) и др.

Из всего изложенного следует подчеркнуть следующие положения.

1. Как вулканические постройки, так и закрытые флюидно-эксплозивные структуры приурочены к местам развития и пересечения региональных разломов, которые на большинстве месторождений контролируют и значительную часть продуктивного оруденения.

2. Процессы интрузивной и эффузивной магматической деятельности на многих крупных месторождениях так тесно связаны друг с другом, что граница между "плутоногенным" и "вулканогенным" типами месторождений (Смирнов, 1969 г.) становится весьма нечеткой. Мы имеем также основание еще раз подчеркнуть общность ведущих закономерностей соотношения рудных проявлений с интрузивными и вулканическими образованиями.

3. Ряд новых подтверждений получает высказанное еще на Первом вулканологическом совещании [21] положение, согласно которому процессы рудообразования являются результатом длительной эволюции определенных магматических очагов и формирование рудных тел происходит на поздних стадиях такой эволюции, в ряде случаев тесно переплетаясь во времени с формированием наиболее поздних и, как правило, наиболее кислых и богатых летучими компонентами магматических дифференциатов.

Наконец, все приведенные данные однозначно свидетельствуют о том, что прямая генетическая связь оруденения с вулканическими образованиями может быть отмечена только как отдельное, не имеющее существенного значения звено в формировании рудных месторождений промышленного масштаба, в то время как главная часть рудных эманаций поступает из глубинных источников, контролируемая региональными нарушениями.

### Дайки и оруденение

Несмотря на то что при рассмотрении взаимоотношений оруденения с интрузивными и вулканическими образованиями в той или иной мере затрагивалось и участие в рудообразующем эндогенном процессе различных типов даек, на роли этих последних следует остановиться дополнительно.

Проблема "дайки и оруденение" в конце пятидесятых и начале шестидесятых годов оказалась в центре внимания многих специалистов, как петрологов, так и рудников, которые в связи с многочисленными фактами указывают на обычную пространственную и возрастную

близость даек и рудных тел. В числе главных сторон проблемы рассматривалось положение различных типов даек в тектоно-магматических циклах. Многими исследователями развивались взгляды Ю. А. Библина, который выделял различные типы даек в зависимости от их положения в геосинклинальном процессе. Так появились представления о так называемых малых интрузиях (М. Б. Бородаевская, Ф. К. Шипулин и др.) как о самостоятельных образованиях, возникающих в заключительный полуплатформенный период развития геосинклиналей.

Тогда же В. С. Коптевым-Дворниковым были выдвинуты представления о дайках первого и второго этапов, сопровождающих формирование крупных гранитных интрузивов. По своему положению в эндогенном процессе дайки второго этапа могли, по существу, быть сопоставлены с малыми интрузиями, хотя и отличались от них тем, что обладали пусть даже отдаленной пространственной ассоциацией с гранитными массивами.

Факт, что в пределах рудных полей различных формаций наряду с дайками основного и среднего состава присутствуют гранитные интрузии или участки их кровли, уже давно поставил перед исследователями вопрос о причинах возникновения подобной ассоциации. При этом было обращено внимание на гибридный характер серии даек, относимой по составу к лампрофирам. В соответствии с гипотезой В. С. Соболева (1952 г.) гибридный характер этих даек объяснялся проникновением базальтовой магмы в трещины еще не остывшего гранитного массива. В результате происходило обогащение основного расплава кремнекислотой, щелочными и летучими компонентами за счет поровых растворов гранитного массива. Однако нельзя не видеть, что в подобном случае упомянутые активные реагенты должны бы в равной степени воздействовать и на минералы гранитов, вызывая их метасоматические преобразования, чего в действительности, как правило, не наблюдается.

С другой стороны, автором монографии на примере некоторых даек Южного Приморья была прослежена вся гамма переходов от гибридных даек, сохранивших структуру, аналогичную структурам ксенолитов основных пород до диорит-порфиритов, отличающихся от нормальных интрузивных разностей повышенным содержанием апатита, карбоната и некоторых других минералов, богатых летучими компонентами. Тот факт, что некоторые дайки спессартитов, секущие гранитные массивы, образуются в результате ассимиляции основных пород гранитным расплавом, был подтвержден их тесной временной близостью, в результате которой дайка спессартита, пересекающая гранитный массив, оказалась сама пересеченной дайкой аплита (рис. 7).

Однако, как можно видеть из изложенного в настоящей главе, подавляющее большинство крупных рудных месторождений, в первую очередь средне- и низкотемпературных формаций, значительно оторвано во времени от гранитообразования и, может быть, именно в силу этих причин среди даек рудных полей подобных месторождений лампрофиры, как и граниты, встречаются далеко не всегда.

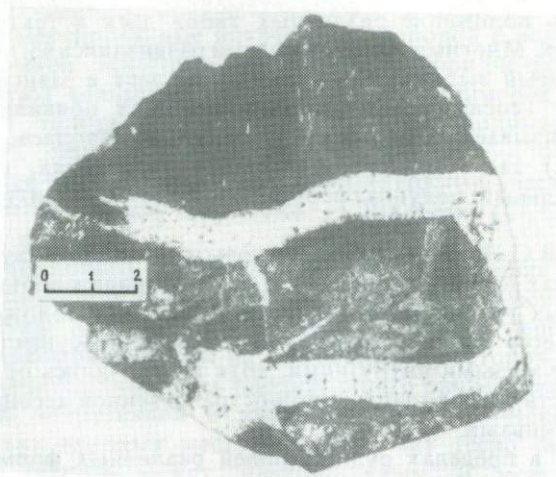


Рис. 7. Пересечение дайки порфирита прожилками аплита

Важную роль в развитии взглядов на генезис даек рудных полей и взаимоотношение их с оруденением сыграли возникшие во второй половине шестидесятых годов представления о роли тектоно-магматической активизации в эволюции эндогенных процессов. В настоящее время дайки основного и среднего составов, завершающие на многих рудных месторождениях магматический процесс и следующие со значительным отрывом во времени за образованием гранитных интрузий, большинство исследователей склонно рассматривать как продукты этапа повторной активизации глубинного подкорового очага. Этот этап, который во многих регионах завершает развитие преимущественно гранитоидного магматизма, некоторые исследователи именуют рифтогенным. Возникающие при этом свиты даек основного и среднего составов нередко связаны с вулканическими извержениями и представляют собой корни эффузивов. Наряду с этим свиты подобных даек, дискордантные по отношению к господствующему структурному плану соответствующего рудного района, подчеркивают присутствие скрытых систем нарушений, имеющих важное рудо-локализирующее значение. Формирование подобных даек в пределах рудных полей тесно сопряжено во времени с формированием рудных жил, что, по справедливому замечанию Н.И. Бородаевского, позволяет рассматривать их как своего рода реперы в эндогенном процессе.

На ранней стадии изучения даек рудных полей некоторые исследователи (Ф.И. Вольфсон, С.Д. Туровский) отрицали существование пострудных даек. Дискуссия, возникшая вокруг этого вопроса, способствовала выявлению новых фактов, которые, с одной стороны, установили существование не только пострудных, но и внутриминерализационных даек на многих рудных месторождениях, с другой — показали большую сложность получения однозначных аргументов

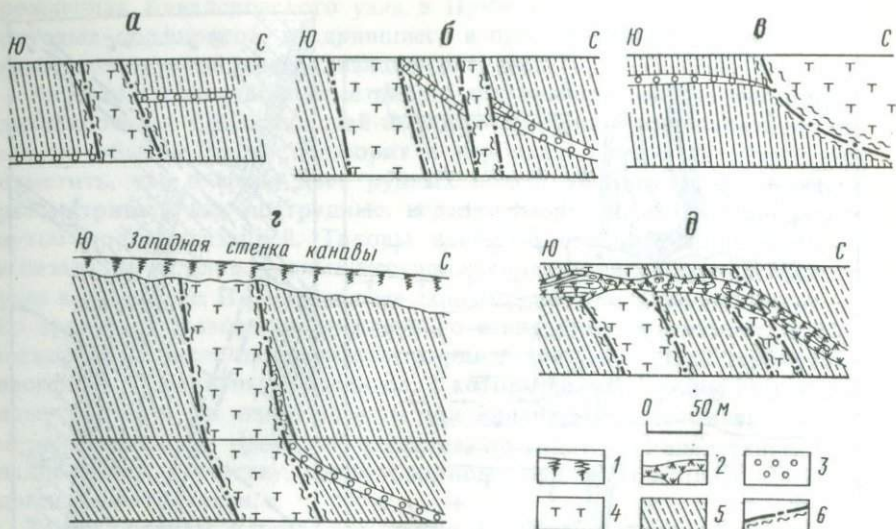


Рис. 8. Различные типы взаимоотношений даек диоритового порфирита с рудной кварцевой жилой на Ушмуномском месторождении (по Ив.Ф. Григорьеву и Е.И. Долломановой)

1 — наносы; 2 — жилы безрудного кварца; 3 — рудные кварцевые жилы; 4 — диоритовый порфирит; 5 — грейзенизированные песчанико-сланцевые породы; 6 — тектонические нарушения

при решении подобных вопросов. Так, известны многочисленные случаи, когда дайка, как бы пересекающая рудную жилу, при более тщательном изучении оказывается дорудной. Ложное впечатление пересечения создается в результате того, что вязкая порода, слагающая дайку, не пропускает и как бы экранирует рудные растворы. Взаимоотношения между дайками и оруденением еще более осложняются наличие повторных подвижек с образованием тектонической глинки, экранирующей руду. Характер подобных ложных пересечений был подробно изучен Ив. Ф. Григорьевым и Е.И. Долломановой на некоторых оловорудных месторождениях Забайкалья [9] (рис. 8).

Более надежными критериями существования пострудных и внутриминерализационных даек являются наблюдавшиеся в дайках на некоторых месторождениях ксенолиты рудных жил или вмещающих пород с обрывками рудных жил. При этом ориентировка в пространстве этих последних или в некоторых случаях слагающих их зон не совпадают с этими элементами в ненарушенном рудном теле, что свидетельствует о движении ксенолита в магматическом расплаве (рис. 9). Более позднее внедрение некоторых даек по отношению к рудным телам на оловорудных месторождениях Приморья было подтверждено термальным метаморфизмом минералов рудных жил на контакте с дайкой, в частности метаморфизмом низкотемпературного жильного кварца и явлениями перекристаллизации рудных минералов.

Особый интерес представляют внутриминерализационные дайки, секущие оруденение более ранних стадий и предшествующие в своем

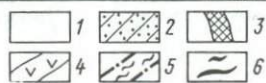
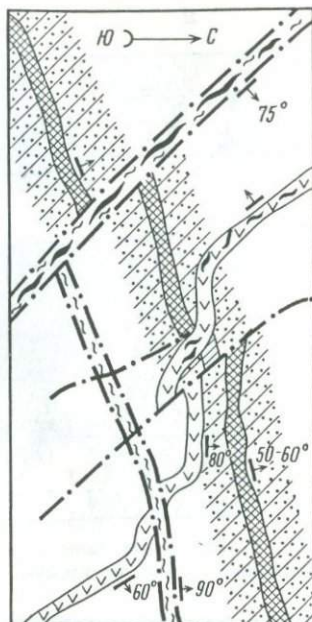
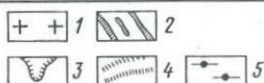
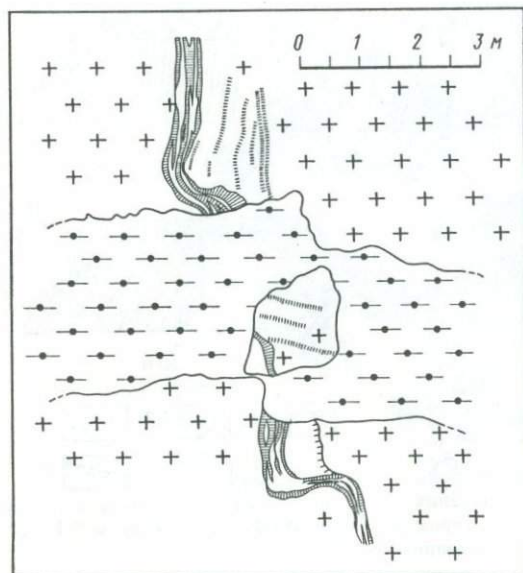


Рис. 9. Пересечение кварцево-карбонатной золоторудной жилы дайкой диабазовых порфиритов с ксенолитом вмещающих пород, содержащим обрывок рудной жилы (в плане) (по Ю.С. Шихину и Е.Н. Ищенко)

1 — гранодиориты; 2 — кварц-карбонатная жила; 3 — отпрепарированная выветриванием поверхность контакта жилы; 4 — прожилки кварца; 5 — диабазовые порфириты

Рис. 10. Соотношение рудных тел первого этапа минерализации с дайками диоритовых порфиритов и сульфидной минерализацией второго этапа на Арсеньевском месторождении (по И.Н. Томсону, В.П. Полохову с соавторами)

1 — песчано-сланцевые породы; 2 — кварц-турмалиновые метасоматиты; 3 — рудное тело олово-сульфидного состава (I этап минерализации); 4 — диоритовые порфириты с вкрапленностью кварц-хлорит-сульфидного состава; 5 — зона дробления; 6 — линзы кварц-сульфидных руд и флюорита (II этап минерализации)

образовании более поздним и, как правило, более низкотемпературным стадиям. Примеры подобных взаимоотношений в настоящее время достаточно многочисленны. Среди внутриминерализационных даек известны как образования среднего и основного, так и в отдельных случаях кислого состава. С.В. Ефремова (1983 г.) описывает дайку гранодиорит-порфира, которая на медно-молибденовом месторождении Каджаран в Закавказье содержит обломки кварц-молибденовых жил и, в свою очередь, затронута поздней пиритизацией. На Дальнегорском свинцово-цинковом месторождении в Приморье Л.Н. Хетчиковым (1957 г.) описана дайка диорит-порфирита, зажатая "в вилку" между двумя генерациями галенита, из которых более ранняя характеризуется повышенным содержанием висмута. И.Н. Томсон и В.П. Полохов с соавторами (1983 г.) на оловорудных место-

рождениях Кавалеровского узла в Приморье установили дайки диоритовых порфиринов, внедрившиеся в промежутке между двумя этапами оловорудной минерализации (рис. 10).

Внутриминерализационные дайки, как правило, интенсивно пропилитизированы. Среди поздней наложенной рудной минерализации наиболее обычны пирит, флюорит и карбонат. Следует вместе с тем отметить, что и среди даек рудных полей, которые есть основание рассматривать как пострудные, нередки разности, интенсивно затронутые пропилитизацией. Таковы наиболее поздние дайки диабазов и базальтов на оловорудных месторождениях Кавалеровского рудного узла в Приморье. По имеющимся данным, дайки этой группы оторваны по времени образования от главного этапа рудообразования, и, возможно, в их числе присутствуют корни развитых на этой территории неогеновых покровных базальтов, с которыми они сходны по первичному составу. Их измененность под влиянием низкотемпературных метасоматических процессов является, по-видимому, следствием принадлежности к участку, расположенному над очагом длительной эндогенной активности.

Таким образом, в проблеме "дайки и оруденение" временные и пространственные взаимоотношения, свидетельствующие о парагенетических связях, выдвигаются на передний план. В то же время в отличие от интрузивных и эффузивных образований вопрос о прямых генетических связях теряет свой смысл ввиду незначительных объемов магматических тел.

Завершая на этом раздел, посвященный геологически особенностям взаимоотношения магматических и рудных образований, необходимо отметить, что автор далек от мысли о том, что ему удалось охватить эту обширную тему с достаточной полнотой. В то же время изложенные геологические факты позволили подтвердить основное положение, согласно которому магматизм и его разнофациальные производные не являются прямыми источниками рудоносных флюидов, формирующих месторождения промышленного масштаба. Однако как магматические, так и рудообразующие процессы представляют собой закономерные звенья в эволюции глубинных эндогенно-активных очагов.

### **Процессы контаминации и дифференциации магматических расплавов как стимуляторы обособления рудообразующих флюидов**

При обсуждении особенностей связи оруденения с магматизмом не менее важной проблемой, чем возможные источники рудных эманаций, является проблема концентрация рудного вещества. При этом независимо от того, будем ли мы признавать в процессе рудообразования примат глубинных потоков вещества или рудной специализации магматических расплавов, процессы эволюции последних, способствующие обособлению рудных эманаций, не утратят своего значения.

Накопленный к настоящему времени обширный фактический ма-

териал, частично рассмотренный в предыдущих главах, позволяет заключить, что процессы рудо- и магмообразования протекают в тесном взаимодействии под влиянием периодической активизации глубинных очагов — источников тепла и минерализаторов. Участие глубинных флюидов ведет не только к зарождению рудных эманаций, но и к образованию магматических палингенных очагов, магма которых поступает затем через промежуточные камеры к месту своего становления. Широко известные факты пространственной ассоциации определенных типов оруденения с определенными магматическими формациями служат еще одним доказательством тесной связи магматического и рудного процессов. Все сказанное позволяет утверждать, что геохимическая специфика магматических серий в конечном счете зависит не только от обогащенности палингенных магм, но и в еще большей степени от состава тех глубинных эманаций, которые явились одной из причин магмообразования. Глубинные эманации могут, в свою очередь, как непосредственно участвовать в рудообразовании, так и способствовать переотложению рассеянной рудной минерализации.

Таким образом, мы стоим перед необходимостью считаться с возможностью участия разноглубинных рудных элементов в составе одного и того же месторождения. При этом наряду с эманациями, непосредственно поступающими из глубин и имеющими парагенетические взаимоотношения с первичными магматическими очагами, участвуют и такие, концентрация которых является следствием эволюции первичных магматических расплавов в камерах магмообразования или в промежуточных очагах. Установлено также, что на месторождениях промышленного масштаба магматические образования являются представителями разных, нередко контрастных, вещественных серий. Каждая представляет собой закономерно развивающийся эволюционный ряд, и оруденение занимает в процессе этого развития определенное, характерное именно для данного типа положение.

Все это позволяет обратиться к рассмотрению тех процессов дифференциации магматических расплавов, которые ведут к обособлению и концентрации летучих компонентов и минерализаторов. Среди этих процессов ведущее значение имеют контаминация и сопутствующие ей процессы эманационной дифференциации и ликвации.

Интенсивность процессов контаминации зависит от ряда причин, в первую очередь от реакционной способности магмы и от скорости ее кристаллизации. Последняя зависит от размеров соответствующей камеры, глубины ее расположения, богатства магмы летучими компонентами и степени проницаемости кровли, так же как и от исходной температуры расплава. В самом общем случае при прочих равных условиях, чем длительнее был период охлаждения и застывания расплавов, тем значительнее проявлялись в соответствующей камере реакции с вмещающими породами. Наблюдения над контактами третичных гранитов Южного Приморья с вмещающими основными эффузивами и глинистыми сланцами и изучение ксенолитов позволили автору монографии [50] показать, что в пределах интрузивной камеры происходила дифференциация магматического расплава, обуслов-

ленная существенным накоплением калия около контактов с вмещающими породами и ксенолитами. Было установлено также, что накопление калия на контактах с ксенолитами идет параллельно с накоплением летучих компонентов, на что указывает изобилие миаролитовых пустот и пегматоидных шлиров в аляскитовых эндоконтактных оторочках гранитных массивов. Таким образом, в процессе ассимиляции происходило не только перераспределение калия в гранитном расплаве, но и перераспределение летучих компонентов.

Близкие к указанным закономерности были позднее установлены В.Н. Охотниковым (1985 г.) на примере гранитоидов Полярного Урала. Он подчеркивает важную роль ассимиляционной способности расплавов для формирования рудоносных средне-позднедевонских интрузий этого региона. Формирование гибридных пород сопровождалось при этом концентрацией калия и железа в кровле и эндоконтактах интрузивов. Подобным же образом наблюдается отток калия и железа в сторону периферии в пермских интрузивах того же региона. Широко развитые в их составе гибридные породы характеризуются повышенной калиевой щелочностью. В.Н. Охотников подчеркивает, что фракционирование щелочей является показателем отделения от гранитов рудонесущих флюидов.

Еще одним процессом, влияющим на развитие исходных магматических расплавов была несомненно ликвация. Как было показано [29] на материале третичных субвулканических образований Приморья и Закавказья, явления ликвации приводили к расслоению кислых липаритовых или дацитовых магм на две несмешивающиеся части, различающиеся преимущественно содержанием кремнекислоты, калия и натрия. Эти процессы изучались на примере шаровых лав, слагающих неки или отдельные покровы (рис.11). При этом было установлено, что обособление капель, застывающих затем в шары, происходит местами в более глубоких камерах, чем те, в которых наступает застывание расплавов. На это указывает существование слоев или "струй", отделенных от остальной части расплава поверхностью раздела и участвующих в его движении. Подобные струи, разрываясь, давали линзовидные и овальные обособления.

Исследования показали, что ликвация во многом связана с контаминацией. Так, непосредственным толчком к ликвации может служить ассимиляция кислой магмой ксенолитов известняков (субвулканическое тело района Пушкинского перевала в Армении). Еще одной чертой, свидетельствующей о сопряженности процессов контаминации и ликвации является характерное для обоих накопление калия у поверхности раздела различных сред. Оно дает толчок к обособлению капель обогащенных калием силикатных расплавов. При этом поверхностями раздела различных сред наряду с ксенолитами могут служить вкрапленники, так же как и пузыри паров и газов. Это позволяет заключить, что процессы, начавшиеся в виде ассимиляции магмой ксенолитов, в дальнейшем могли привести к ликвации. Характерно также, что во всех исследованных нами случаях ликвации в природных объектах присутствовали несомненные доказательства наличия в соответствующих расплавах большого количества ле-

тучих компонентов. Факт, что ликвация могла происходить в камерах более глубоких, чем те, где расплав подвергся окончательно застыванию, позволяет думать, что в первом случае процесс в целом мог иметь более значительные масштабы, чем во втором.

Контаминация и ликвация, протекающая в расплавах, богатых летучими компонентами, имеют много общего еще с одним типом дифференциации — эманационным. Так, в том же сборнике при описании шаровых образований в липаритах р. Малазы (Приморье) было отмечено присутствие в шарах замкнутых полостей, выполненных гидротермальной минерализацией. Анализ взаимоотношений шаровых образований с цементирующим их липаритом показал, что шары обособлялись вокруг газовых пузырей в ходе концентрации калия у поверхностей раздела их с расплавом. Газовые пузыри, проникавшие к месту застывания расплава из более глубоких камер, были обогащены водой, фтором, углекислым газом и переносили кремнекислоту и некоторые рудные элементы.

Процессы эманационной дифференциации, представляющие собой дистилляцию газов, перераспределение, перегонку легколетучих и редких примесей, были в начале шестидесятых годов специально рассмотрены В.С. Коптевым-Дворниковым (1961 г.). Этим автором было показано, что в массивах Центрального Казахстана миаролы, содержащие крупные кристаллы калиевого полевого шпата, кварца, чешуйки биотита и мелкие зерна флюорита, в большинстве случаев окружены оторочками мелкозернистых гранитов, имеющих резкие границы с вмещающими породами. Наличие оторочек, согласно В.С. Коптеву-Дворникову, подчеркивает магматическую природу обособляющихся растворов. Около миарол развиваются также процессы микроклинизации. Наблюдаются переходы к пегматитовым шлирам. Как можно видеть, типичное проявление эманационной дифференциации, описанное В.С. Коптевым-Дворниковым, имеет несомненное сходство с тем процессом, который в богатых летучими компонентами липаритах р. Малазы привел в конечном счете к явлениям ликвации.

В обоих описанных случаях процессы эманационной дифференциации сопровождались накоплением рудного вещества. Так, миароловые пегматиты в жильных гранитах Восточного Коунрада наряду с флюоритом содержат вольфрамит, а в пустотах липаритовых шаров р. Малазы присутствуют флюорит и сидерит, содержащий примеси марганца, свинца, цинка и молибдена.

Особое значение в магмо- и рудообразовании процессам ликвации придает А.А. Маракушев [25]. Как указывает этот автор, явления ликвации предшествуют застыванию как в эффузивных, так и в интрузивных условиях, только во втором случае реликтовые структуры не сохраняются. Он указывает также, что, поскольку силикатные расплавы, соответствующие по составу обычным магматическим горным породам, обладают неограниченной смесимостью, ликвация может происходить только под влиянием дополнительных компонентов. Последние представлены или флюидами, такими, как фтор, соединения бора и др., или нелетучими компонентами, содержащими железо, титан, фосфор. Намечается два типа магматического рассло-

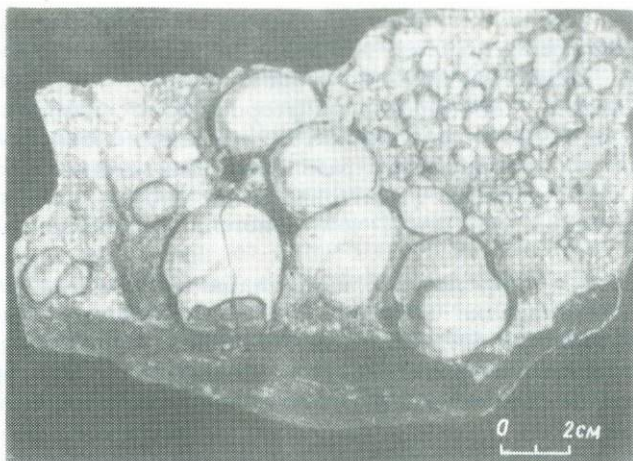


Рис. 11. Шаровые лавы Дальнегорского района Приморья

ения [25]: меланократово-лейкократовое (кислотно-основное) и кварц-полевошпатовое (кислотно-щелочное).

В первом типе контрастность составов фаз обусловлена различным содержанием в них кремнезема и оснований (Mg, Fe), причем кремнекислая фаза относительно обогащена щелочными металлами. Во втором типе фазы различаются по содержанию кремнезема и щелочных металлов, причем последними обогащены менее кремнекислые фазы. В результате возникают контрастные ассоциации вулканических и плутонических пород. Кварц-полевошпатовое расслоение может приводить к отщеплению пегматитовых расплавов от аляскитовых магм. По данным А.А. Маракушева, ликвация является процессом, во многом определяющим металлогеническую специализацию магматических комплексов. С целью выяснения роли фтора как фактора ликвации липаритовых, трахитовых и фонолитовых магм А.А. Маракушевым была проведена серия экспериментов со щелочными алюмосиликатами, кремнеземом и гиератитом ( $K_2 Si F_4$ ) в качестве фторидного фактора ликвации. В результате было установлено, что образующиеся при ликвации щелочные магмы относительно кремнекислых сильно обогащены фтором, что обуславливает концентрацию в них редких элементов (Zr, Hf, Nb, Ta, Be и др.).

Значение ликвации как эффективного фактора селективной концентрации рудогенных металлов определяется тем, что в результате ее возникают флюидно-магматические расплавы, сильно обогащенные рудогенными металлами и летучими компонентами. В ходе их последующей кристаллизации происходит отделение флюидных компонентов с образованием гидротермальных систем рудообразования. В эксперименте, где расщепление фторидных магм проводилось под давлением водного флюида, в более щелочных дифференциатах сконцентрировался преимущественно фтор, а более кислое стекло было обогащено водой.

Далее А.А. Маракушев приводит доводы в пользу ликвационного происхождения пегматитовых расплавов путем отщепления их от аляскитовой магмы на поздних стадиях развития магматических очагов вследствие обогащения их фтором. За это говорит соотношение составов пегматитов и аляскитов, отвечающее экспериментальным данным по ликвирующим расплавам. Контрастность составов пегматитов по отношению к материнским гранитам лучше объясняется ликвационной гипотезой, чем кристаллизационной дифференциацией.

Возвращаясь к приведенным выше наблюдениям над влиянием процессов контаминации и элементов внутренней неоднородности магмы на обособление богатых калием летучими и рудными компонентами расплавов, есть основание заключить, что эти процессы служат начальным этапом дифференциации, завершающейся ликвационным расслоением.

Заклячая этот раздел, следует отметить, что рассмотренные здесь возможные механизмы отделения рудообразующего флюида от магматического расплава, казалось бы, в основном применимы для объяснения тех из описанных выше случаев, когда наблюдаются прямые генетические связи между магматическими породами и рудными проявлениями. Однако нельзя не принимать во внимание многочисленные факты, свидетельствующие о том, что и в тех случаях, когда образование крупных по масштабу рудных объектов связано с поступлением мантийных флюидов, процессы рудо- и магмообразования протекают в тесном взаимодействии, и, следовательно, описанные механизмы дифференциации сохраняют свое рудогенерирующее значение, хотя соответствующие процессы происходят на более значительной по сравнению с первыми из упомянутых случаев, глубине, на фоне палингенового образования расплавов под влиянием глубинных флюидов.

### **О сквозьмагматических флюидах**

При рассмотрении вопросов связи оруденения с магматизмом необходимо также привлечь особое внимание к известной гипотезе Д.С. Коржинского о сквозьмагматических флюидах. В свете этих построений летучие соединения, как и часть магматических расплавов, зарождаются в глубинный оболочке Земли — мантии. В земную кору летучие поднимаются по магматическим столбам с глубины в десятки и сотни километров. Принимается однако во внимание, что в верхних горизонтах земной коры в составе флюидов участвуют и метеорные водные растворы. В местах активного магматизма на этих и более глубоких уровнях земной коры, где температура достигает нескольких сот градусов, флюидная фаза образована в основном конституционными, магматическими и мантийными флюидами, состав которых пока не установлен. Участие мантийных флюидов в геологических процессах, согласно этой концепции, подтверждается соотношением изотопов  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $C$ ,  $S$  и тяжелых элементов во вновь образованных породах.

Одним из важных элементов рассматриваемой концепции являются

представления Д.С. Коржинского об образовании гранитов из расплавов, возникших в результате предварительного изменения окружающих пород. Таким образом происходило "магматическое замещение", в основе которого лежало воздействие флюидов, и в том числе их мантийной составляющей. Первоначально магматическое замещение было обнаружено в породах, образовавшихся в основании земной коры, что позволило признать источник флюидов мантийным. В дальнейшем было показано, что подобное замещение сопровождается магмы любого состава на глубине от сотен метров до десятков километров. Наличие метасоматических изменений в глубинных ксенолитах позволили Ю.А. Кузнецову и Э.П. Изоху предположить, что потоки тепла и вещества в форме флюидов пронизывают и верхнюю мантию. Трансмагматические флюиды могут продлевать время кристаллизации магм, подогревая их за счет тепла, выделяющегося при окислении флюидов материалом коры.

Что касается рудных месторождений, то температурные условия образования и их пространственное совмещение с магматическими телами свидетельствуют о ведущей роли магм в их происхождении. Однако это не значит, что оруденение поступает из конкретных магматических расплавов. Вместе с тем обращается внимание на теснейшую связь специализированных рудных проявлений с определенными магматическими комплексами, что является следствием общих условий их формирования. По мере развития идеи о рудообразовании в связи с трансмагматическими флюидами в представлении их сторонников все более четко оформлялось мнение о мантийном источнике металлов и рудоносных флюидов. В коллективном докладе Д.С. Коржинского, Н.Н. Перцева и И.А. Зотова на VI симпозиуме МАГРМ [20] было высказано положение, согласно которому магматические флюиды имеют мантийный источник и восстановительный характер. Поступая в земную кору по магматическим колоннам, флюиды остаются равновесными с этими магмами вплоть до того, как они проникают в их охлажденные или консолидированные приконтактные участки или во вмещающие породы, где они вступают в реакции. Постмагматическое оруденение отлагается в консолидированной головной части магматических колонн, по которым поступали трансмагматические флюиды, корни которых оставались расплавленными из-за высоких температур и служили проводниками для трансмагматических флюидов. Важной особенностью магматического процесса, с которым связано оруденение, являются интенсивные проявления различных типов дифференциации.

В этом докладе авторами был затронут вопрос об особенностях образования именно крупных рудных месторождений, для которых интрателлурические флюиды преобладают над остаточными магматическими и метеорными. Особенности процесса магматического замещения в связи с трансмагматическими флюидами подкорового происхождения рассмотрены также А.А. Маракушевым в его известной монографии [25]. Этим автором прослежены переходы от собственно метаморфизма к мигматизации и гранитообразованию на фоне миграции как петрогенных, так и рудогенных элементов.

## ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА МАГМАТИЧЕСКИХ И РУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КАК КРИТЕРИИ ИХ СВЯЗИ

### ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ (К ИСТОРИИ ВОПРОСА)

К рассмотрению критериев связи, основанных на сравнительном изучении вещественного состава магматических и рудных образований, в середине пятидесятых годов одним из первых среди советских геологов обратился В.С. Коптев-Дворников. В дальнейшем в разработку этой проблемы значительный вклад был также внесен М.Г. Руб, С.Д. Туровским, В.В. Ляховичем, Ю.В. Казицыным, Л.В. Таусоном и др. В.С. Коптевым-Дворниковым и М.Г. Руб [19, 35] было предложено подразделять подобные связи на две основные группы: минерало-петрографические и геохимические критерии.

Преимственность минералогического состава определяется как присутствием в магматических породах соответствующих рудных минералов, так и наличием среди позднемагматических образований тех же минеральных видов, которые содержатся в составе рудных тел. Так, по данным М.Г. Руб, как для палеозойских гранитоидов, так и для сопровождающего их оловянного оруденения в Приханкайском районе (Приморский край) характерно присутствие калиевого полевого шпата с высоким содержанием бариевой молекулы.

Присутствие собственно рудных минералов в качестве аксессуаров в изверженных породах было установлено целым рядом исследователей на примере оловоносных и некоторых других гранитов. Так, Е.И. Долмановой в одном из оловоносных районов Забайкалья в неизменных биотитовых гранитах установлены кристаллы касситерита. Как известно, рудные акцессорные минералы занимают различное положение в процессе кристаллизации магматического расплава, при этом наиболее поздние из них выделяются в миаролитовых пустотах. В упомянутой статье В.С. Коптева-Дворникова и М.Г. Руб [19] описываются примеры миароловых гранитов Казахстана и Дальнего Востока, в пустотах которых присутствуют берилл, топаз, турмалин, касситерит, вольфрамит и другие минералы. В числе подобных примеров приводится Мариановский оловоносный массив (Приморский край). Граниты этого массива пересечены кварц-турмалиновыми прожилками с касситеритом; наряду с этим касситерит вместе с морионом, микроклин-пертитом, топазом и турмалином присутствует в миароловых пустотах.

Геохимические критерии связи, основанные на изучении элементов-примесей в изверженных породах принято подразделять на прямые и косвенные. В первом случае в породах, слагающих магматические комплексы, и в соответствующих рудных образованиях устанавливаются повышенные содержания именно тех рудных элементов, которые являются ведущими в составе рудопроявлений. Косвенными признаками можно считать присутствие идентичных элементов-приме-

сей как в составе некоторых породообразующих минералов, так и минералов, слагающих рудные тела.

В качестве примера прямых связей могут быть привлечены данные В.А. Баскиной [4] о повышенном по сравнению с кларком фоновом содержании свинца в изверженных породах Дальнегорского рудного района Приморья, характеризующегося свинцово-цинковым оруденением. Как установлено упомянутым исследователем, свинец является обычной примесью в породообразующих минералах всех изверженных пород района независимо от того, взяты ли исследованные породы в пределах рудных полей или вне их. Наблюдается закономерное возрастание количества свинца в составе минералов от ранних к поздним: так, в плагиоклазе вкрапленников в гранит-порфирах содержание свинца соответствует тысячным долям процента; в калиевом полевоом шпате и биотите основной массы — сотым долям; в позднем магнетите — сотым и десятым долям процента.

Нередко прямые и косвенные связи наблюдаются совместно. Многочисленные примеры такого рода приводятся в работах В.С. Коптева-Дворникова и М.Г. Руб [19, 35]. Так, по данным М.Г. Руб, следующая группа элементов характеризует как породы оловоносного палеозойского интрузивного комплекса в Приханкайском районе, так и ассоциирующиеся с ним месторождения Ba, Li, Rb, B, F, Zn, Se, Pb. Присутствие подобной "проходящей" группы элементов, прослеживающейся от ранних интрузивных фаз через различные типы связанных с интрузивами даек вплоть до постмагматических образований, рассматривается как следствие образования магматических и рудных тел в ходе эволюции единого глубинного магматического очага.

В качестве одного из примеров использования общности в составе магматических и рудных образований могут быть приведены аргументы ряда авторов в пользу связи магнетитового оруденения с траппами. В начале тридцатых годов С.С. Смирнов и позднее В.И. Гоньшакова указывали на наличие в составе подобных железных руд магнетитоферрита, как на признак несомненного родства оруденения с основными магмами. О том же, по мнению некоторых авторов, свидетельствует участие в рудообразовании большого количества летучих, свойственных основным магмам, таких, как вода, углекислота, фосфор, хлор и в меньшей степени фтор.

Для обработки аналитических данных, позволяющих судить о содержании и характере распределения элементов-примесей, в течение последних лет стала широко применяться математическая статистика. При этом в центре внимания находятся два типа задач: 1) разграничение совокупностей, различающихся между собой однородных групп; 2) выяснение функций распределения.

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РУДОНОСНОСТЬ МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

Изучение геохимической и в том числе металлогенической специализации изверженных пород лежит в основе решения вопроса об их рудогенерирующей способности. Иными словами, это изучение направлено на те особенности магматических комплексов, которые свидетельствуют о потенциальной возможности образования в связи с ними рудных месторождений.

С тех пор как возникли представления о металлогенической специализации изверженных пород как основном критерии их рудогенерирующей способности, сущность этих представлений испытала значительные изменения. Если вначале повышенное против кларка содержание рудного элемента уже само по себе считалось благоприятным признаком, то в дальнейшем основной упор был сделан на изучение поведения элементов-примесей и летучих компонентов в процессе эволюции магматического расплава. С этой целью оцениваются особенности их распределения в породе и характер их накопления в последовательных магматических фазах, а также их взаимоотношение с породообразующими минералами. В.В. Ляховичем [23] было выдвинуто свыше десяти признаков, совокупность которых позволяет говорить о наличии рудогенерирующей способности расплава в данных конкретных условиях его становления. Выявление этих признаков предусматривает математическую обработку геохимических данных.

Определенная группа этих признаков позволяет обнаруживать явление эманационной дифференциации. К числу их относится значительная степень неоднородности распределения содержаний рудных элементов и акцессорных минералов в породе, выраженная в высокой дисперсии их содержаний. Важная роль эманационного фактора обнаруживается также путем применения корреляционного анализа, позволяющего установить в качестве положительного критерия тесную связь летучих и рудных компонентов. И наконец, признаками повышенной рудогенерирующей способности магм и их богатства летучими компонентами служат накопления рудных элементов в апикальных частях массивов и в их экзоконтактных ореолах.

Другая группа признаков потенциальной рудоносности магматических расплавов определяется кристаллохимическими закономерностями. Сюда относится высокая степень накопления рудных элементов в поздних дифференциатах гранитных магм (коэффициент дифференциации по В.С. Коптеву-Дворникову и Е.В. Негрей). Подобным же образом содержание рудных элементов в породообразующих минералах потенциально рудоносных гранитов повышается в ходе кристаллизации. Этим объясняется большее по сравнению со средним содержание подобных элементов в кварце и биотитах рудоносных гранитов. В названных минералах отмечаются нередко и ураганные содержания рудных элементов, связанные с наличием редких и рудных элементов в поздних дифференциатах гранитов и в поздних генерациях породообразующих минералов, что свидетельствует об отторжении этих элементов от главной массы кристаллизующейся горной породы. Степень этого отторжения, которую В.В. Ляхович определяет как коэффициент накопления, является наибольшей в гранитах с хорошо

проявленной рудогенерирующей способностью. Сравнение вычисленных средних содержаний рудных и редких элементов в породообразующих минералах соответствующих генераций рудоносных и нерудоносных гранитов подтвердило, как это показал В.В. Ляхович, их существенное отличие.

В качестве примера упомянутого отторжения редких и рудных элементов и концентрации их в поздних дифференциатах гранитных магм и в поздних породообразующих минералах может служить описанное В.Д. Козловым с соавторами (1979 г.) поведение фтора, лития, рубидия, цезия, бора, олова и вольфрама в процессе формирования рудоносных и нерудоносных гранитоидов Забайкалья. Авторами установлено возрастание содержаний этих элементов от двуслюдяных гранитов и пегматитов Борщевочного комплекса к мусковитовым гранитам, пегматитам и грейzenам Кукульбейского комплекса, так же как и более высокое их содержание в мусковитах последнего по сравнению с более ранними породообразующими минералами. Это отвечает данным о рудоносности Кукульбейского комплекса и о слабой редкометальной минерализации, связанной с пегматитами Борщевочного комплекса.

И.Д. Рябчиков [39] показал экспериментально, что ряд халькофильных элементов, такие, как Zn, Fe, Pb, Cu, экстрагируются хлором и переходят в водную фазу, возникающую в ходе кристаллизации кислых магм. В то же время литофильные элементы (Sn, Be, W) переносятся не хлором, а фтором, концентрация которого во флюидах сопряжена с фракционированием расплава. Таким образом, пути отторжения рудных элементов от расплава были прослежены экспериментально. Полученный большой статистический материал также подтверждает, что редкометальные месторождения или рудопроявления пространственно ассоциируются с гранитными массивами, у которых величина коэффициента накопления редких элементов в 1,5—2 раза и более превышает среднее значение этого коэффициента для соответствующего элемента.

Как отмечает В.В. Ляхович, первый этап в проявлении рудогенерирующей способности гранитной магмы выражается в переходе от изоморфной к минеральной форме нахождения рудных и редких элементов. В связи с этим в рудоносных гранитах содержание рудных акцессорных минералов в 3—30 раз превышает среднее, а содержание рудных элементов в прочих акцессорных минералах также выше среднего. Таким образом, рудогенерирующая способность магмы определяется не столько общим содержанием в ней рудного элемента (как это считалось первоначально), сколько распределением этого элемента между слагающими породу минералами. Систематическое отличие между содержанием рудного элемента в породе и его содержанием в породообразующих минералах определяется как коэффициент несходности. Чем выше рудогенерирующая способность гранитного расплава, тем выше и расхождение между валовым содержанием рудного элемента в граните и его содержанием в породообразующих минералах.

Таким образом, согласно В.В. Ляховичу, определяется потенциальная рудоносность изверженных пород, которая, однако, как мы это

попытаемся показать ниже, сама по себе еще не может служить залогом образования рудного месторождения и тем более значительного по своим масштабам. В этой связи есть основание напомнить высказывание А.А. Маракушева [25], согласно которому ключом к пониманию металлогенической специфики магматических комплексов является анализ флюидного режима, сопровождающего магматизм. При этом характер подобного режима ставится в связь с потоком глубинных, трансмагматических эманаций.

Близкое к представлениям В.В. Ляховича определение понятия "металлогеническая специализация" магм было дано Ю.В. Казицыным (1964 г.), который выделил четыре этапа подобной специализации в соответствии с этапами развития магматизма. Существо металлогенической специализации по Ю.В. Казицыну состоит в способности магм в стадии их образования и дифференциации обогащаться определенными рудными компонентами, а в стадии магматической дистилляции и в ходе отделения гидротермальных растворов отдавать все или часть этих компонентов. Эти процессы упомянутый автор рассматривал в качестве одной из форм дифференциации земного вещества. В развитии магматического цикла Ю.В. Казицын различает четыре этапа.

1. Геохимическая (металлогеническая) специализация первого рода относится к петрорудной провинции в целом и является следствием планетарной неоднородности вещества Земли. Это домагматическая специализация рудных провинций. Она может прослеживаться в течение нескольких эпох, а оруденение может быть связано с одной из них. Для нее характерно повышенное содержание в горных породах того или иного элемента.

2. Металлогеническая специализация второго рода (петрохимическая форма) — избирательное накопление в ходе дифференциации в магматическом очаге того или иного элемента. При этом петрохимическим типам пород отвечают определенные комплексы рудных компонентов. Для выявления подобной металлогенической специализации необходимо изучать распределение рудных элементов в последовательных дифференциатах рудоносного магматического комплекса. Эта специализация отвечает потенциальной рудоносности комплексов на контактово-метасоматическое и пневматолитовое оруденение.

3. Металлогеническая специализация третьего рода (кристаллохимическая форма) свойственна регрессивному этапу развития магматического процесса. Накопление рудных элементов уступает место их избирательному отделению. При значительном содержании в очаге нескольких элементов одни будут рассеиваться в ранних дифференциатах и породообразующих минералах, другие — концентрироваться в остаточном растворе. Эта специализация указывает на вероятность оруденения и на пометальный его состав.

4. Металлогеническая специализация четвертого рода (мобилизационная форма) — способность гидротермальных растворов усваивать рудные элементы их вмещающих пород, а при благоприятных условиях — их сбрасывать.

Из числа приведенных примеров к выдвигаемой Ю.В. Казицыным

специализации первого рода следует отнести упомянутую зараженность свинцом изверженных пород Дальнегорского рудного района в Приморье. Специализация второго рода отвечает потенциальной рудоносности в понимании ряда авторов. При этом существенным, с нашей точки зрения, является ограничение, введенное Ю.В. Казицыным, согласно которому непосредственно связанными с магматическими комплексами являются только месторождения контактово-метасоматического и пневматолитового генезиса. Далее металлогеническая специализация третьего рода Ю.В. Казицына отвечает "коэффициенту накопления" В.В. Ляховича. Что же касается металлогенической специализации четвертого рода, то вряд ли ее можно ставить в один ряд с тремя предыдущими, так как мобилизационная способность гидротермальных растворов не является прямой функцией магматического расплава, а зависит от ряда других причин, в первую очередь от источника самого раствора и от состава вмещающих пород.

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ И СВЯЗАННОЕ С НИМИ ОРУДЕНЕНИЕ

Большой вклад в изучение взаимоотношений магматического и рудообразующего процессов был внесен работами Л.В. Таусона [44]. В своих исследованиях этот автор выдвигает в качестве основных источников оруденения магматические очаги, а интенсивность эманационной дифференции ставит в зависимость от состава и обилия летучих компонентов, которые, в свою очередь, зависят от геохимического типа магматических пород. Не отрицая роли интрателлурических потоков вещества в эндогенном рудообразовании, Л.В. Таусон считает, что она еще недостаточно изучена и что установление геохимических особенностей полей аномальных концентраций рудного вещества, связанных с этим процессом, есть дело будущего. Под геохимическим типом магматических пород предлагается понимать группу пород, отличающихся способом образования и геологическим положением, что может проявляться в общности химического и минерального состава и формировании сходных рудно-магматических комплексов в разные периоды геологической истории. Эти комплексы характеризуются близкой потенциальной рудоносностью, которая определяется насыщенностью магмы летучими компонентами и масштабом и кинетикой процессов эманационной дифференциации магм. Особенности дегазации потенциально рудоносных интрузий рассматриваются в качестве их рудной продуктивности. Дегазация происходит на этапах внедрения, становления, кристаллизации и остывания расплавов. Длительность и многоэтапность этих процессов и степень напряженности тектонического режима предопределяют множественность этапов отделения летучих и возможность неоднократного образования участков аномальных рудных, в том числе и промышленных, концентраций. Тем не менее Л.В. Таусон не считает связь между продуктивными интрузиями и оруденением прямой, а рассматривает ее как парагенетическую.

Л.В. Таусоном было выделено девять (позднее двенадцать) геохимических типов гранитоидов и восемь базальтоидов. При этом гранитоиды по происхождению отнесены к трем группам: 1) дифференциатам магм основного и среднего состава, 2) результату палингенного плавления вещества континентальной коры, 3) результату ультраметаморфизма и гранитизации кристаллического основания земной коры на ранней стадии геологической истории Земли. Помимо геохимического типа изверженных пород, эманационная дифференциация зависит также от условий становления и дегазации интрузивов, что является следствием их размеров и глубины застывания. В работах Л.В. Таусона большое внимание уделяется прослеживанию поведения поздне- и постмагматических растворов и остаточных расплавов. Так, предполагается, что в абиссальных гранитоидах могут образовываться в их глубинных частях поздние кислые дифференциаты, насыщенные летучими и редкими элементами. Они и генерируют рудоносные гидротермальные растворы. Дегазация рудоносных интрузий на магматической стадии приводит к образованию предрудных ореолов метасоматических пород. Поздне- и постмагматические процессы, сопровождающие гипабиссальные интрузии, отличаются длительностью и многоэтапностью. При их участии многократно возникают участки аномальных концентраций в самой интрузии и во вмещающих породах, где образуются эманационные ореолы, зависящие по своему составу от геохимического профиля материнских интрузий.

В работах Л.В. Таусона значительное внимание уделяется также особенностям поведения редких элементов в ходе кристаллизации магм, условиям их изоморфного вхождения в породообразующие минералы и их кристаллизационного рассеяния. Последнее облегчает вынос упомянутых элементов из пород при постмагматических процессах, и это используется Л.В. Таусоном при обсуждении вопроса об источниках оруденения. Подобный подход к вопросу о рудогенерирующей способности магм близок, как можно видеть, к соответствующему подходу В.В. Ляховича.

Исследования, проведенные Л.В. Таусоном, несомненно приближают к пониманию поведения обогащенных рудными элементами флюидов в процессе кристаллизации различных типов магматических расплавов. Несомненно также, что эти закономерности необходимо учитывать при выяснении генезиса некоторых групп месторождений (оловоносные и вольфрамоносные литий-фтористые граниты, гранитоиды с минералами редких земель и тантало-ниобатами). Однако нельзя не отметить, что для большинства крупных и уникальных по масштабам рудных объектов взаимоотношения с гранитными интрузиями являются более сложными, а магматический процесс многоактным и растянутым во времени на десятки и даже сотни миллионов лет. Если это так, то и основной источник рудоносных флюидов должен быть более глубинным, чем тот или иной очаг гранитных магм. Возникает противоречие: с одной стороны, Л.В. Таусон утверждает, что причиной всех геологических (а следовательно, и металлогенических. — М.Ф.) явлений служит дифференциация вещества мантии,

сопровождающаяся потоками эндогенного вещества и энергии, с другой — в выдвигаемой им концепции эти глубинные эманации, по существу, не принимаются во внимание.

К проблеме роли геохимических типов изверженных горных пород в рудогенезе обращается также В.И. Коваленко с соавторами [18]. При этом под геохимическим типом он понимает группу пород, близких по химическому и минералогическому составу, по распределению редких элементов, по поведению петрогенных и редких элементов. Расплавы одного геохимического типа способны формировать самостоятельные интрузивные массивы с определенным набором пород поздних фаз и постмагматических образований, в том числе и рудных. В дальнейшем это определение отнесено В.И. Коваленко к понятию "геохимический тип массивов изверженных пород". Л.В. Таусон справедливо считает это определение недостаточно строгим и отчасти неопределенным. Действительно, в нем, как можно видеть, полностью отсутствуют важные характеристики, определяющие способ образования и геологическое положение соответствующих типов пород.

В статье В.И. Коваленко с соавторами [18] рассматриваются проблемы потенциальной рудоносности магматических пород и дается определение этого понятия, полностью совпадающее с тем, которое было ранее выдвинуто В.В. Ляховичем, Ю.В. Казициным и др. Вместе с тем авторы пытаются расширить понимание этого термина, утверждая, что потенциально рудоносные магмы могут изначально не содержать повышенных концентраций тех или иных редких или рудных элементов, однако в отличие от своих безрудных аналогов должны обладать способностью сами порождать рудные месторождения либо мобилизовывать или концентрировать вещества из других источников (имеются в виду вмещающие породы).

Отношение авторов к источникам рудного вещества в известной мере противоречиво. С одной стороны, они прямо указывают на возможность как генетических, так и парагенетических отношений между магматическими породами и оруденением, с другой — считают, что при существовании пространственной связи между магматической породой и оруденением можно говорить о позитивной роли магматических пород (совместно, например, с литологическими, тектоническими и другими факторами) в рудогенезе, а следовательно, о способности данных магматических пород генерировать месторождения полезных ископаемых. Получается, таким образом, что авторы любую пространственную ассоциацию упомянутых объектов рассматривают как свидетельство их прямой генетической связи. Наряду с этим утверждается, что потенциально золотоносны контрастные магматические ассоциации, в которых производные глубинных базитовых и внутрикоровых гранитоидных магм проявляются в одних структурах и сопряжены во времени. Тогда остается неясным: какая именно из этих магм является источником золотого оруденения, поскольку обе отвечающие им породы пространственно ассоциированы с золотым оруденением?

Возвращаясь к понятию о "геохимическом типе массивов извер-

женных пород”, авторы отмечают, что разница между ним и “магматической формацией” заключается только в том, что первое относится к отдельным массивам, а второе к их группам. При этом формация может включать несколько геохимических типов. С этими утверждениями авторов трудно, однако, согласиться. Так, обращает на себя внимание, что в признаки магматических формаций они включают определенные геологические условия, а в признаки геохимических типов — нет. Кроме того, если, по утверждению авторов, как для магматических формаций, так и для геохимических типов пород характерным признаком является сходство вещественного состава слагающих их пород, то каким образом магматическая формация может включать несколько геохимических типов?

В связи с рассматриваемой стороной проблемы следует обратиться также к трудам некоторых зарубежных исследователей. Среди них отметим Дж. Нобля [68], согласно которому четко выраженная на западе Северной Америки пространственная ассоциация между интрузиями и оруденениями не позволяет заключить, что граниты являются источником оруденения. Этому противоречит хотя бы тот факт, что, чем больше размер гранитной интрузии, тем мельче по масштабу связанное с ним оруденение. Автор высказывает предположение, что металлы были распределены в верхней мантии первично, до образования коры. В процессе локального плавления, при котором генерировалась магма, происходило падение давления, способствовавшее концентрации и поднятию вверх металлообразующих эманаций.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ЭЛЕМЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЯ СВЯЗИ ОРУДЕНЕНИЯ С МАГМАТИЗМОМ**

К обсуждению вопросов связи оруденения с магматизмом пробуют также привлекать анализ изотопного состава различных элементов. Наибольшее количество исследований этого профиля относится к изотопии свинца. При этом работы, в которых непосредственно ставится вопрос о связи оруденения с магматизмом, значительно уступают по количеству таким, где этот вопрос освещается косвенно на основании выводов о возможном источнике свинца в породах или рудах. Несмотря на то что подобные исследования ведутся уже не одно десятилетие, в соответствующей интерпретации данных еще много условного. Здесь интересно отметить данные Р.Зартмана (1977 г.), который рассмотрел зависимость изотопного состава свинца из изверженных пород и руд на Западе США от геотектонической обстановки, в которой они формировались. Автором было выделено три поля изотопного состава свинца, отвечающих трем различным районам упомянутой территории. В основу сделанных выводов им положены данные о том, что нижняя кора, т. е. породы гранулитовой фации, обеднены ураном по отношению к свинцу и торию, тогда как породы верхней коры обогащены им по отношению к свинцу. Поведение тория недостаточно хорошо изучено.

Мантия относительно коры обогащена всеми тремя элементами.

Далее Р. Зартман исходит из предположения, что в районе I и II магма генерируется на разных уровнях земной коры. Район I подстилается мощной докембрийской корой, отнесенной к нижней коре, где происходит генерация магмы. В результате в мезозойских и третичных магматических породах свинец отражает древнее обеднение ураном в виде замедленного накопления ураногенных изотопов свинца. Подобная же картина характерна для свинца большинства ассоциирующихся с упомянутыми магматическими породами гидротермальных месторождений. В районе II определяющее значение для состава свинца изверженных пород и руд имеют верхнекоревые породы, слагающие мощную пятнадцатикилометровую толщу позднедокембрийских и фанерозойских миогеосинклинальных осадков. В пределах района рудные свинцы и свинцы из пород неразличимы и характеризуются повышенным содержанием радиогенной составляющей. Наконец, в районе III развита мощная толща эвгеосинклинальных пород мезозойского и третичного возраста, и свинец изверженных и гидротермальных образований имеет сходство со свинцом современных океанических осадков, который, как полагают, представляет собой среднее между коровым и мантийным свинцом.

В работе Р. Зартмана, таким образом, в основном отмечалось сходство изотопного состава свинцов изверженных пород и руд, что рассматривалось как единство источника. В отличие от этого в работе Д. Брауна (1977 г.), также опирающейся на месторождения Запада США, делается вывод, что присутствующий в гранитах свинец либо соответствует свинцу руд, либо существенно отличается от свинца руд и пегматитов более высокой степенью радиогенности. Для последнего случая предполагается, что главный источник свинца, общий для руд и пегматитов, находился за пределами магматического очага. Однако автор не обсуждает возможности существования самостоятельного глубинного источника, а обращает внимание на то, что рудный свинец по своему составу близок свинцу океанической воды и морских осадков. В результате Д. Брауном выдвигается гипотеза, согласно которой рудные залежи образуются путем дистилляции и осаждения рудного вещества из вод, заключенных в осадочных породах, под действием интрузивного прогрева. Вместе с тем автор допускает возможность попутного извлечения свинца как из интрузии, так и из осадочных пород.

Наряду с изотопами свинца известны отдельные попытки привлечь к обсуждению рассматриваемых вопросов некоторые косвенные данные, основанные на изотопном составе кислорода и водорода. Так, по данным О. Нейля (1984 г.), значительное обеднение  $^{18}\text{O}$  и дейтерием многих магматических пород служит доказательством того, что в процессе кристаллизации и охлаждения плутона происходил обмен с метеорными водами, богатыми легкими изотопами. С другой стороны, на основе подобных данных было установлено значительное содержание метеорных вод в рудоносных флюидах эпitherмального золото-серебряного месторождения в шт. Невада (США). Более прямой подход к оценке связи оруденения с магматизмом с использованием изотопного анализа кислорода был осуществлен М.С. Акоюном и его

соавторами [2]. В качестве объекта исследования ими был взят Кохбский интрузив тоналитового состава на территории Алаверди-Шамлугского района в Закавказье и ассоциированные с ним в пространстве месторождения гематит-магнетитовой, медно-молибденовой, медноколчеданной и колчеданно-полиметаллической формаций. Изучение изотопного состава кислорода изверженных пород массива и породообразующих минералов, с одной стороны, и из кварца, магнетита и гематита железорудного месторождения — с другой, привело авторов к выводу, что источником оруденения являлся магматический расплав. Изучение изотопного состава кислорода кварца из медно-молибденового месторождения подтвердило магматический источник рудообразующих флюидов и парагенетическую связь оруденения с Кохбским интрузивом. В то же время для Шамлугского медноколчеданного месторождения изотопно-кислородные исследования не дали однозначного ответа об источнике флюидов и металлов.

Резюмируя приведенные данные по изучению изотопного состава свинца и кислорода, следует отметить, что они в настоящее время далеки от охвата проблемы связи оруденения с магматизмом в целом и скорее направлены на решение отдельных частных вопросов на конкретных объектах. При этом осуществляемый авторами подход не носит комплексного характера и в значительной мере оторван от анализа геологической ситуации.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАГМАТИЧЕСКИХ И ПОСТМАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

К изучению поведения рудных элементов в магматических и постмагматических процессах привлекаются также экспериментальные исследования, сопровождающиеся термодинамическими расчетами. В отечественной литературе к исследованиям такого профиля было привлечено усиленное внимание начиная с конца шестидесятых годов. Приводя обзор наиболее важных работ этого направления, мы постараемся показать как за истекший период эволюционировали взгляды тех или других исследователей.

Проблеме связи гидротермального оруденения с магматизмом посвящены многочисленные работы И.Д. Рябчикова. В опубликованной им монографии [39] с помощью экспериментов и термодинамических расчетов обосновывается гипотеза о возможном образовании эндогенных рудных месторождений путем отделения флюида от конкретного магматического расплава, который затем застывает, образуя интрузивный массив. Отмечается, однако, что исследовать можно только частные системы с последующим теоретическим синтезом полученных результатов. Следует подчеркнуть, что автор исходит из заведомого предположения, что "отдельные типы гидротермальных рудных месторождений, особенно представители высокотемпературного класса, проявляют четкую генетическую связь с гранитными интрузиями..." [с. 73].<sup>1</sup> Для развития выдвигаемой гипоте-

<sup>1</sup> В более поздних работах И.Д. Рябчиков (1986 г.) отнес к бесспорно мантийным только месторождения, относящиеся к магматическому классу.

зы И.Д. Рябчиков производит оценку ряда факторов, в первую очередь общей массы флюидной фазы, остающейся после завершения кристаллизации магматического очага; состава флюида в отношении преобладающих летучих компонентов и количества рудных компонентов, которое может быть вынесено из интрузива этой флюидной фазой.

В монографии последовательно рассматривается роль и поведение воды и углекислоты в составе флюидов. Использование ряда независимых источников информации привело автора к заключению, что в поздне- и постмагматических флюидах в отличие от газовой фазы раннемагматической стадии преобладающим компонентом является вода, а не углекислый газ, однако средние содержания  $\text{CO}_2$  в них все еще достаточно высоки, и при дальнейшем снижении температуры он участвует в реакциях карбонатизации и в переносе ряда компонентов в виде карбонатных комплексов. Следует вместе с тем отметить, что в приведенных в монографии расчетах, направленных на оценку поведения  $\text{CO}_2$  в поздне- и постмагматических процессах не принималось во внимание возможное поступление  $\text{CO}_2$  во флюид за счет окисления углеводородов, роль которых в переносе и отложении рудного вещества, по-видимому, немаловажна.

Для оценки роли галоидов в гидротермальном процессе были проведены экспериментальные исследования в системах силикат—хлорид—вода, позволяющие охарактеризовать поведение водно-хлоридных растворов в надкритических для них условиях. Экспериментально полученные величины коэффициентов распределения хлора между гранитным расплавом и водным флюидом весьма низки, что позволяет отнести хлор к элементам практически полностью экстрагируемой водной фазой на позднемагматической стадии. В ходе охлаждения очагов гранитной магмы на глубине 3 км и менее на определенной стадии обязательно имеет место сосуществование водного газа и концентрированной водно-хлоридной жидкости. Обе эти фазы могут играть определенную роль в экстрагировании из материнских пород и переносе рудного вещества, а их последовательное взаимодействие с вмещающими породами объясняет некоторые процессы окolorудных изменений. Преобладающей формой переноса хлора в магматической газовой фазе в глубинных условиях должны быть хлориды щелочных металлов, а не  $\text{HCl}$ . В отличие от хлора фтор при отделении газовой фазы на поздней стадии кристаллизации магматических очагов преимущественно остается в силикатном расплаве и фиксируется кристаллизующимися минералами, а не уходит в водный флюид.

На основании всего изложенного И.Д. Рябчиковым построена физико-химическая модель возникновения и эволюции магматических флюидов кислых изверженных пород. Обращаясь к поведению отдельных рудных элементов в хлоридных растворах, равновесных с гранитоидами при параметрах магматического процесса, автор отмечает, что одним из главных компонентов этих растворов является железо. Именно оно наряду с натрием и калием преобладает в составе катионов флюида.

Поведение некоторых других рудных компонентов рассматривается в свете теории поведения изоморфных примесей при фазовых переходах. Установлено, что при значении комбинированного коэффициента распределения ( $K^S$ ) существенно меньше единицы наблюдается значительный выход микрокомпонента во флюид даже при малой экстракционной способности последнего. Сюда относятся Sn, W и Be. Если  $K^S \approx 1$ , то эффективность выноса микрокомпонента флюидом зависит от содержания летучих в исходной магме. К таким микрокомпонентам относится, например, цинк. При  $K^S$ , значительно превышающем единицу, микрокомпонент почти полностью захватывается твердыми фазами. Поэтому такие элементы, как Sr и Ba, нехарактерны для высокотемпературных месторождений, локализованных в гранитоидах. В системах, где имело место фракционирование расплава, особенно велика эффективность выноса микрокомпонента флюидом при  $K^S < 1$  а при  $K^S > 1$  выход микрокомпонента в водный раствор при полном достижении равновесия снижается особенно интенсивно.

И.Д. Рябчиков использует экспериментальные расчетные данные для изучения поведения цинка в магматическом флюиде, содержащем, кроме хлора,  $H_2S$ . Он приходит к выводу, что появление сфалерита в качестве первичного акцессорного минерала гранитоидов при температуре 600—700° невозможно; ZnS остается неустойчивым и при дальнейшем падении температуры. Фракционирование кристаллов на магматической стадии не оказывает влияния на выход цинка в водную фазу.

Согласно экспериментальным и расчетным данным, концентрация свинца в хлоридном растворе, равновесном с кислой породой, содержащей кларковые количества этого элемента, в 7—20 раз ниже, чем содержание цинка при тех же условиях. Количество его во флюиде существенно возрастает при фракционной кристаллизации расплава. Установлено также, что золото проявляет повышенную подвижность в водной фазе при параметрах интрузивного процесса (600—800°С и 2 кбар в проведенных опытах), причем хлоридная форма переноса является преобладающей. В целом автор утверждает, что фракционирование на стадии магматической кристаллизации является необходимой предпосылкой в первую очередь при формировании месторождений литофильных рудных металлов (Sn, W, Be), главную роль в переносе которых играют фториды.

Важнейшим выводом из произведенных опытов и расчетов является также заключение, что при вовлечении более древних рудных тел в сферу более молодой гидротермальной активности переход рудного вещества в раствор с последующим более концентрированным его отложением вполне возможен.

Поведение рудных элементов в магматических и постмагматических процессах было рассмотрено А.А. Маракушевым на основе термодинамических расчетов с использованием энергетических характеристик химических элементов, их соединений, результатов анализа химического сродства элементов к летучим компонентам флюидов, магматических расплавов и к силикатным структурам различного

типа. Согласно этому автору, все эндогенные процессы имеют, в общем, сходную природу, но различаются геохимически по тем наборам химических элементов, которые испытывают концентрацию или рассеяние. Задача состоит в нахождении тех характеристик геохимических сред (минералов, магм, флюидов), которые благоприятны для концентрации того или иного набора петрогенных или рудогенных элементов, для образования их парагенезисов, наблюдаемых в природе.

Концентрация одних металлов в рудных обособлениях и рассеяние других в горных породах объясняются их химическим сродством, с одной стороны, к компонентам флюидов, с другой — к кремнекислородным группам. Таким образом определяются взаимоотношения рудообразования и петрогенезиса. Магматизм, метаморфизм, метасоматизм и связанное с ними образование месторождений полезных ископаемых рассматриваются А.А. Маракушевым как звенья единого процесса эндогенной минерализации под воздействием восходящих флюидных потоков в связи с геоструктурной эволюцией земной коры. Концентрация и рассеяние элементов во многом зависят от окислительно-восстановительного режима сред. Так, согласно А.А. Маракушеву, относительное сохранение восстановительной обстановки в эвгеосинклинальных подвижных зонах должно стимулировать накопление в них оксифобных элементов хлоридно-сероводородного профиля (Cu, Au, Pt, Ni, Cr). Более окислительный режим терригенных геосинклиналей должен благоприятствовать рассеянию этих элементов и развитию оруденения олова, вольфрама, бериллия. Однако вопрос осложняется тем, что в своем развитии рудообразование подчинено специфике магматических очагов и отражает различные направления и этапы их эволюции. Тенденция концентрации металла в рудах нарастает по мере понижения химического сродства металлов к кислороду в силикатных структурах.

Обращаясь к возможному составу флюидов и формам переноса рудных элементов, А.А. Маракушев указывает, что флюиды в глубинных зонах имеют первоначально более восстановленный характер и при подъеме в верхние горизонты окисляются с выделением тепла, которое вносит существенный вклад в энергетику развития магматизма и метаморфизма. Перенос рудных элементов осуществляется или на основе хлоритипных составляющих ( $H_2$ , S, Cl) путем формирования гидросульфидных, хлоридных, водородных, углеводородных миграционных комплексов металлов, или в связи с фторотипными компонентами (кислород, фтор), участвующими в образовании кислородных миграционных комплексов — карбонатных, боратных, сульфатных, фосфатных и др.

В заключении к монографии А.А. Маракушев подчеркивает, что им на основе различных окислительных состояний элементов предложена геохимическая систематика, определяющая их поведение в процессах петрогенеза и рудообразования.

Многочисленные аргументы в пользу связи широкого спектра металлов с магматизмом можно также найти в работах Л.Н. Овчинникова (1977 г.). Этот автор утверждает, что магматизм является важ-

нейшим общегеологическим процессом, влекущим за собой образование многочисленных и разнообразных по условиям формирования и составу эндогенных рудных месторождений. Магматизм рассматривается Л.Н. Овчинниковым как один из планетарных процессов, способствующих дифференциации металлов. Магматическая дифференциация и дифференциация металлов идут параллельно, причем последняя вызывается первой и ведет к концентрации металлов, образующих затем промышленные скопления. При этом, однако, связь магматизм—оруденение рассматривается широко, с учетом мантийных источников.

Наряду с этим исследования, проведенные Л.Н.Овчинниковым и Н.Ф. Челищевым [28], показали, что при оценке особенностей распределения компонентов между твердой и жидкой (газообразной) фазами при кристаллизации магматического расплава необходимо учитывать процессы комплексообразования. Эти процессы включают взаимодействие ионов растворенного вещества, ионов и молекул последнего с диполем воды (гидратацию) и взаимодействие молекул воды между собой (структура растворителя). Комплексообразование способствует удержанию в растворе компонентов, склонных к участию в этом процессе, и обеднению ими кристаллической фазы. Оно значительно влияет на кислотность—щелочность в растворе, являющуюся одним из важных факторов, определяющих поведение рудных и редких элементов в постмагматических процессах. Поэтому явления комплексообразования могут оказывать значительное влияние на характер концентрации и рассеяния компонентов (в частности, рудных и редких элементов в процессах минералообразования). Если рудный или редкий элемент участвует в ионообменной реакции как катион, то комплексообразование будет способствовать его накоплению в растворе. Если же он участвует в ионной реакции как комплексный анион, то комплексообразование в растворе будет способствовать его переходу в твердую фазу. Влияние упомянутого процесса на характер распределения компонентов между сосуществующими твердыми и жидкими (газообразными) фазами в количественном отношении может быть весьма значительно. Образование комплексных ионов может способствовать концентрации рудных и редких элементов в минералообразующих растворах, а различная устойчивость комплексов — являться одним из важных факторов их разделения в геохимических процессах.

Возможность непосредственного отделения рудоносного флюида от кристаллизующегося магматического расплава обосновывается Л.В. Овчинниковым и его соавтором путем изучения включений расплавов и растворов в изверженных породах. В качестве доказательства постепенного и равномерного накопления халькофильных металлов в процессе кристаллизации и становления андезито-дацитовых экструзивов приводится последовательное увеличение содержания этих металлов при переходе от ранних высокотемпературных включений расплавов к поздним, заполненным водными хлоридно-натриевыми растворами. Указывается, что содержание Pb, Zn, Cu во включениях с температурой гомогенизации 360—420°С на порядок выше

концентрации этих металлов в силикатных включениях, плавящихся при 1180 °С. Концентрация упомянутых металлов в постмагматических включениях превышает в десятки раз их кларковые содержания в материнских андезито-дацитах. Таким образом, как подчеркивает Л.Н. Овчинников, в конкретной геологической обстановке существует реальная возможность отделения рудообразующих халькофильных растворов от силикатного магматического расплава в ходе его внедрения и последующего становления интрузива.

Возвращаясь к монографии И.Д. Рябчикова, отметим, что следуя своей основной концепции о прямой генетической связи оруденения с гранитоидами, этот автор пришел к заключению, что количество рудного вещества, которое отщепляется при кристаллизации штока среднего размера, вполне достаточно для создания месторождения умеренного размера или даже крупного. Для подтверждения этого он приводит расчеты выноса железа и цинка при кларковом содержании хлора в исходном расплаве штока упомянутого размера. Предварительные, заниженные, экспериментальные данные по меди отвечают переходу в магматический флюид из такого же штока количества меди, сопоставимых с запасами некоторых промышленных месторождений. К утверждению о том, что крупное месторождение может образоваться из неспециализированного гранита, И.Д. Рябчиков возвращается и в позднейших работах (1986 г.). При этом отмечается, однако, что в процессах мобилизации халькофильных рудных элементов возможно участие нагретых рассолов внемагматического происхождения.

Анализ полученных данных позволяет автору сделать вывод, что для мобилизации значительных количеств цинка от кристаллизующейся гранитной магмы нет необходимости предполагать специализацию исходного расплава на цинк, хлор и т. п. Для протекания подобных процессов вполне достаточно кларковых количеств этих элементов. Таким образом, автор, ссылаясь на одну из ранних работ Л.Н. Овчинникова, приходит к выводу, что проблемы металлогенетической специализации гранитоидов в ее общем виде не существует.

В заключение монографии И.Д. Рябчиков специально оговаривает, что переход масс рудных компонентов во флюид является необходимым, но далеко не достаточным условием образования рудных залежей, и, таким образом, нет основания утверждать обязательное формирование гидротермальных месторождений в ходе становления каждого гранитного плутона. Для того чтобы месторождение образовалось, необходим ряд условий концентрированной фиксации рудного вещества, в том числе осуществление механической мобилизации рассеянного межзернового флюида интрузивной породы в определенные структуры, наличие экранов взаимодействия с породами контрастного химизма, резкие градиенты температуры и давления и др.

В дальнейшем И.Д. Рябчиков (1978, 1986 гг.), разрабатывая представления об условиях отделения рудных компонентов от гранитного расплава, обратился к экспериментальным исследованиям окислительно-восстановительного потенциала как фактора рудоносности кислых магм. В результате этих экспериментов было показана

но отрицательное влияние восстановительных условий на формирование гидротермальной оловянной минерализации, что связано, в частности, с уменьшением экстрагирующей силы флюидной фазы вследствие снижения в ней концентрации  $H_2O$ , восстанавливаемой до  $H_2$ . Возможность ассоциации упомянутого оруденения с тем или иным магматическим комплексом возрастает по мере увеличения значений летучести кислорода. Подобным же образом на поздней стадии гранитных расплавов в окислительных условиях появляются бедные железом аляскитовые магмы, а железом обогащается флюидная фаза.

Особый интерес представляет совместная с М.И. Новгородовой статья И.Д. Рябчикова (1981 г.), где роль восстановительного флюида рассматривается с позиций образования самородных металлов Al, Zn, Fe, Cr с сопутствующими Pb, Sn, Cu в гидротермальных рудах золота. В ходе этих исследований в самородном алюминии, находящемся в смеси с самородным свинцом, был определен состав газовых включений и установлено, что окисленные составляющие ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$ ) преобладают в нем над восстановительными ( $CH_4$ , CO или  $N_2$ ,  $H_2S$ ). Исходя из предположения, что это не первичный состав газа, а уже "отработанный", авторы провели термодинамические расчеты, позволившие установить, что газ, равновесный с металлическими алюминием и свинцом при  $327^\circ C$  (600 K) и 120 бар, состоит почти целиком из углеводородов (метана или более сложных углеводородов). Из этих расчетов делается интересный вывод о первично-углеводородной природе восстановительных агентов и о возможности переноса рудных компонентов в виде металлоорганических соединений с серой, хлором и некоторыми другими летучими веществами. Приводятся данные, исключаяющие возможность заимствования углерода из пород, вмещающих оруденение, отмечается близость восстановительного флюида к составу газов областей газонефтенакопления. Ассоциация самородных металлов появляется на ранних стадиях рудного процесса перед отложением главной массы сульфидов и после завершения процессов кислотного выщелачивания (окварцевания вмещающих пород и образования кварцевых жил и прожилок в них).

Следует отметить, что в настоящее время имеется обширная литература, содержащая сведения о роли углеводородов в переносе и отложении рудных элементов, к рассмотрению которой мы вернемся несколько позднее. Здесь же отметим, что экспериментальные исследования, проводившиеся И.Д. Рябчиковым и его сотрудниками свыше десяти последних лет, были, как можно видеть из изложенного, в основном направлены на изучение роли водно-хлоридных флюидов в рудогенезе. Вопрос о том, в каких взаимоотношениях находятся эти последние с восстановительным флюидом, состоящим из углеводородов, пока остается открытым.

Начиная с конца семидесятых годов в работах И.Д. Рябчикова все больше внимания начинает уделяться проблеме мантийного источника магматических расплавов и рудоносных флюидов. Рассматривая роль летучих в мантийном магмообразовании (1982 г.), он отмечает, что, хотя присутствие в мантии флюидов лимитируется протеканием реакции амфиболитизации и карбонатизации лерцолитов, в определен-

ных интервалах  $P-T$  параметров флюид в мантии может существовать. На основании изучения газовых включений в мантийных минералах и расчетов главными его компонентами принимаются вода и  $CO_2$ . Из экспериментальных данных делаются важные выводы о диаметрально противоположной тенденции в поведении натрия и калия при переходе из мантийных твердых фаз во флюид и о том, что участки мантии, аномально обогащенные калием, тяготеют к более глубинным горизонтам, чем участки, обогащенные натрием. Взаимодействие флюидов с твердыми фазами может привести и к сильной дифференциации малых и редких элементов. В итоге предлагается гипотеза образования разных типов щелочных базальтовых магм, с одной стороны, и их взаимоотношения с толеитовыми и высокоглиноземистыми — с другой.

На VI симпозиуме Международной ассоциации по генезису рудных месторождений в 1982 г. И.Д. Рябчиков привлек описанные построения для оценки растворяющей способности водных мантийных флюидов в отношении рудных элементов. В результате им было сделано заключение, что флюидный массоперенос перераспределяет рудные элементы в пределах верхней мантии и контролирует металлогенические характеристики первичных магм. Близкие к этим выводы были сделаны И.Д. Рябчиковым в докладе на совещании "Дегазация Земли и геотектоника" в 1985 г. [13]. Для доказательства присутствия флюидов в верхней мантии он приводит: 1) наличие флюидных микровключений в минералах шпинелевых лерцолитов, сформировавшихся в самых верхних мантийных горизонтах; 2) присутствие в мантийных породах минералов, содержащих летучие компоненты (амфиболы, флогопит, апатит, карбонаты); 3) присутствие в мантийных перидотитах нескольких генераций ряда минералов (ильменит, рутил, флогопит), нередко отличающихся по степени окисления железа; 4) резкие вариации содержания в мантийных породах и базальтах индикаторных редких элементов; 5) нередко наблюдаемое обогащение межзернового пространства мантийных перидотитов редкими землями, легко растворимыми в сильно сжатых водно-углекислых флюидах.

В самых глубоких частях верхней мантии могут оказаться устойчивыми флюиды, обогащенные  $CH_4$ . Изучение растворимости мантийных минералов в водных флюидах доказывает эффективность процессов флюидного массопереноса в мантии. Имеющийся экспериментальный материал показывает, что на определенных глубинах может происходить интенсивная фиксация некоторых компонентов из входящих флюидов. Так, в самых верхних частях верхней мантии фиксируется сера, из чего делается предположение, что последующее взаимодействие богатых сульфидами участков с магматическими расплавами определяет потенциальную способность последних формировать магматические сульфидные руды после внедрения в верхние горизонты земной коры. Таким образом, И.Д. Рябчиков приходит к выводу о мантийных флюидах как непрременных участниках концентрации оруденения.

Из всего изложенного в отношении основных тенденций в экспериментальных исследованиях и термодинамических расчетах, имею-

щих прямое отношение к проблемам связи магматических и рудообразующих процессов, можно сделать заключение, что до недавнего времени они были в основном ориентированы на изучение условий и форм отщепления рудоносных флюидов от конкретных магматических расплавов и форм переноса рудного вещества и что только за последние годы внимание исследователей, включая и экспериментаторов, под давлением многочисленных фактов обратилось к роли глубинных мантийных флюидов не только в рудо-, но и в магмообразовании.

#### **О ВОЗМОЖНОСТИ РОЛИ ИНТРАТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ПОТОКОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В МАГМО- И РУДООБРАЗОВАНИИ**

Роль восстановительных глубинных флюидов в процессах магмо- и рудообразования привлекла за последние годы внимание многочисленных исследователей. В связи с этим необходимо отметить, что принятый рядом экспериментаторов (И.Д. Рябчиков, Л.Н. Овчинников и др.) в качестве основного водно-хлоридный состав флюида не является по-видимому, единственно возможным. За последние годы особенно возрос интерес к углеводородам в процессе дегазации мантии. Так, в составе газовых включений в заведомо мантийных минералах отмечен не только углекислый газ, как это принималось И.Д. Рябчиковым, но, по-видимому, также и углеводороды (УВ). По данным И.В. Попивняка и его соавторов [30], присутствие УВ устанавливается в валовых газовых вытяжках из включений капсулированных в пиропсах и оливинах кимберлитов. Обращаясь к вопросу о роли соединений углерода в рудообразующем процессе, следует в первую очередь упомянуть работы В.Н. Флоровской с соавторами [58], в которых приводятся результаты изучения углеводородистых веществ, образующихся при магматическом, пегматитовом и гидротермальном процессах. Авторы полностью исключают возможность заимствования УВ из осадочных пород, где они могут иметь органическое происхождение. Этому противоречит постоянная связь проявления УВ с тектонически ослабленными зонами и с массивами изверженных пород, а также присутствие их в газах при извержении вулканов.

Так, согласно сведениям, приводимым В.А. Краюшкиным [15], метан в количестве 16% выделяется из "фонтанов" Долины Гейзеров в Калифорнии, в эманациях вулк. Ново-Эрупта его 14%, вулк. Мон-Пеле на о-ве Мартинике — 18%, в продуктах подводного вулканического извержения у Азорских островов — 87%.

В общем случае наблюдается независимость количества УВ от состава вмещающих пород. Было показано также, что при формировании щелочных массивов Кольского полуострова битуминозные вещества относились к последним стадиям постмагматического процесса и выделялись вместе с минералами гидротермального происхождения. С максимумами и минимумами содержаний битумов в рудном поле связаны максимумы и минимумы концентраций некоторых рудных элементов (Cu, Pb, Zn), что свидетельствует о тесной сопряженности процессов накопления УВ с рудообразова-

нием. В.Н. Флоровская и М.Е. Раменская (1979 г.) отмечают, что УВ встречаются в ряде наиболее распространенных рудных минералов, в том числе в золоте, а также во флюорите, кальците, исландском шпате и барите.

На различных стадиях эндогенного процесса выделяются различные типы УВ, причем по мере падения температуры нерастворимые в органических растворителях графиты пневматолитовых образований сменяются легко растворимыми и легкоплавкими асфальтами — спутниками гидротермальных низкотемпературных процессов. Наряду с этим на всех стадиях эндогенного процесса в минералообразующей среде присутствуют углеводороды до  $C_4H_n$  включительно. УВ постоянно отмечаются в ртутных и колчеданных месторождениях, а также в газах на всем протяжении разреза Кольской сверхглубокой скважины (Козловский, 1984 г.). В одной из наиболее поздних статей В.Н. Флоровской с соавторами [15] уделено специальное внимание высокому содержанию рудных и некоторых некогерентных элементов (Li, Rb, Cs) в водах нефтяных месторождений.

За последние годы появился ряд публикаций, обосновывающих важнейшую роль УВ в переносе рудных элементов. В.В. Левицким с соавторами (1980 г.) проведено детальное изучение связи золота и ряда сопутствующих ему элементов с углеродом, водородом, азотом и кислородом и их высокомолекулярными соединениями. При этом исследована структура металлоорганических соединений (МОС), золота и некоторых его спутников. На основании полученных данных делается вывод о трансляции металлов в глубинных восстановительных флюидах в виде МОС, которые вступали в реакцию с элементами минерализующей среды земной коры. В глубинных рудоносных флюидах гетероциклические соединения C, N, O, H, S,  $CH_3$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ , не менее реакционноспособны, чем Cl, CN и  $NH_3$ .

В работе приводится формула МОС, содержащего олово и теллур. В более поздней работе В.В. Левицкого и Б.Г. Демина рассматривается вопрос о постепенной смене восстановительной обстановки на окислительную по восстановлению рудных зон, что выражается в неуклонном росте отношения  $CO_2/(UV+H_2)$ . Авторы приводят новые аргументы в пользу глубинного происхождения золота, углерода и его соединений и в том числе наличия корреляции между расположением золото-углеродисто-сульфидно-кварцевых зон и концентраций  $^4He$ .

Вопросам важной генетической роли элементоорганических соединений в магматогенных и рудообразующих процессах посвящена обобщающая монография Р.М. Слободского [40]. Автор ее выдвигает стройную концепцию, опираясь на большой объем полевых наблюдений, в том числе на изучение современного вулканизма. Им обосновано предположение, что в тепло- и массопереносе в верхней мантии и земной коре наряду с гидридами и углеводородами существенную роль играют элементоорганические соединения (ЭОС). Р.М. Слободской указывает, что, хотя содержание углерода в породах эндогенного происхождения (если не считать карбонатитов, кимберлитов и щелочных пород) невелико, следует учитывать, что большая часть его улетучивается. В связи с этим его содержание в породах и рудах

Может расцениваться лишь как свидетельство того, что углерод участвовал в их формировании. Увеличение давления и уменьшение окислительного потенциала с глубиной, так же как и уменьшение температурного градиента, способствуют увеличению устойчивости ЭОС в этом направлении. Существование восстановительной обстановки в глубинных источниках флюидов подтверждается присутствием муассонита, самородного железа, битумов, водорода и углеводородов во включениях в минералах. Водород, метан и СО установлены в составе газов, выделяющихся при извержениях многих вулканов.

Углеводороды, в том числе и достаточно сложные, обнаружены также в современных гидротермальных системах, например в связи с вулк. Узон на Камчатке. При этом изотопный состав углерода, равно как и ассоциация с мантийным гелием, подтверждают их глубинное происхождение. Подобным же образом образование в вулканических газах воды как продукта горения ювенильного водорода подтверждается изотопным анализом. При этом с окислением глубинных летучих компонентов связаны поверхностные взрывные явления и возникновение газовых факелов над вулканическими жерлами.

Активное участие в эндогенном процессе ЭОС было привлечено Р.М. Слободским для объяснения условий палингенного магмообразования. Согласно этим представлениям, присутствие в гранитах минералов, образовавшихся в восстановительной обстановке (муассонит, самородное железо), свидетельствует о том, что первая стадия возникновения гранитного расплава протекала под воздействием восстановительных флюидов. Во время второй стадии потенциал кислорода повышался, а ранее восстановленные минералы сохранялись только как реликты. Непосредственной причиной расплавления субстрата и возникновения магматических очагов может быть происходящее с экзотермическим эффектом окисление глубинных флюидов в связи с повышением потенциала кислорода при их движении к поверхности. Плоская форма и межформационное положение многих крупных гранитных массивов объясняется тем, что именно на границе с осадочными породами возникает область повышенного кислородного потенциала, т.е. геохимический барьер, и происходит расплавление субстрата. Ему способствует наличие воды и привнос щелочных металлов.

Образование гранитных магм сопровождается увеличением содержания щелочных металлов и кремнекислоты и выносом в экзоконтакты мафических компонентов Fe, Mg, Ca. Разделение осуществляется путем переноса восстановительными интрателлурическими флюидами в форме ЭОС. Устойчивость ЭОС различных металлов возрастает в ряду  $(K, Na) < (Mg, Ca) < Fe$ . Этим же определяется задержка щелочей в расплаве и вынос более устойчивых ЭОС с мафическими металлами в экзоконтакты. Этот процесс назван Р.М. Слободским газовой дифференциацией, эманационной или флюидным фракционированием.

Целый ряд признаков привлекался далее для доказательства определяющей роли ЭОС в переносе и отложении рудных элементов. Так, в рудопроявлении киновари на Южном Урале было непосредст-

венно установлено ртуть-органическое соединение. Автор монографии ссылается далее на высказывание А.Н. Заварицкого (1928 г.), обратившего внимание на то, что выделение платины на месторождениях Тагильского дунитового массива на Урале происходило при температуре гораздо более низкой, чем температура ее плавления. Отсюда он сделал вывод, что платина находилась в соединении с летучими компонентами, присутствие которых подтверждается выделением из скважин, пробуренных в массиве, газа, состоящего из водорода — 80% азота — 10 и метана — 10%. Из современных исследований в области химии элементоорганических соединений известны сложные комплексы, содержащие разнообразные рудные элементы, в том числе Fe, Au, Sn, Ni и другие в соединении с различными радикалами, в состав которых наряду с углеродом входят сера, фосфор, кремний и азот. При высоком потенциале кислорода кислотообразующие окислы металлов, а органические группы окисляются до  $H_2O$  и  $CO_2$ .

Р.М. Слободской указывает на некоторые противоречия, которые возникают при предположении о переносе металлов в виде хлоридов, и на то, что при этом не разрешается проблема транспорта серы вместе с металлами. В то же время разложение содержащих серу ЭОС может приводить к образованию сульфидов. Участие углеродсодержащих соединений в формировании рудных месторождений подтверждается в монографии многочисленными примерами. Так, на месторождении Карлин (США) золото соседствует с органическим веществом, количество которого непосредственно коррелируется с содержанием золота. На месторождениях Енисейского кряжа углеродистым веществом обогащены наиболее тектонически нарушенные участки. На Дарасуне наличие углеродистых веществ установлено в рудных жилах, для которых вмещающими служат изверженные породы. На месторождении Уайт-Пайн (США) частицы самородной меди обычно бывают окружены оболочками битуминоидов. На Комсомольском колчеданном месторождении на Южном Урале максимальное количество углеродистых веществ приурочено к нематаморфизованным колломорфным рудам. При этом содержание углеродистых веществ во вмещающих породах ничтожно. Аналогичные отношения отмечены на Ахтальском полиметаллическом месторождении в Закавказье. На Холондинском стратиформном полиметаллическом месторождении Северного Прибайкалья сульфиды окружены оболочками углистого материала. Битумы обычны в рудах флюорит-полиметаллических месторождений.

Особенности поведения ЭОС привлекаются также для объяснения вертикальной зональности некоторых месторождений: чем сильнее выражены металлические свойства элементов, тем ниже устойчивость их ЭОС при изменении внешних условий. Окисление флюидов по мере их продвижения к земной поверхности и преобразования в гидротермальную систему с высокими потенциалами кислорода и углекислоты — причины различного характера околорудных изменений вмещающих пород на различной глубине.

Как можно видеть из всего изложенного, монография Р.М. Слободской посвящена очень важной проблеме, открывающей пути для принципиально нового подхода к процессам рудообразования. Пред-

ставляется, что в настоящее время ни одна попытка теоретических построений в этой области не может не учитывать роли углеводородов и ЭОС в упомянутом процессе. Р.М. Слободскому удалось убедительно показать наличие определенной связи между магмо- и рудообразованием. При этом гранитные расплавы, возникающие под влиянием глубинных флюидов, не являются источником оруденения, но представляют собой закономерное звено в эндогенном процессе, завершающемся рудоотложением.

Количество работ, подтверждающих участие углеводородов в эндогенном рудообразовании продолжает расти. Среди них особенно следует отметить упомянутые выше исследования В.Н. Флоровской и руководимого ею коллектива по изучению содержания и состава полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в различных типах горных пород и руд. Наряду с прежними исследованиями на медноколчеданном и свинцовоцинковом объектах в недавнее время при участии автора настоящей монографии было проведено изучение ПАУ на оловорудных месторождениях Южного Приморья (1986 г.). В результате было сделано заключение, что постепенное накопление данных об участии ПАУ в процессах образования представителей различных рудных формаций позволяет все более уверенно говорить о том, что привнос углеводородов является закономерным для поздней и постмагматических и гидротермальных процессов. Подтверждением этому служат и установленные на оловорудных месторождениях последовательные изменения состава ПАУ в сменяющих друг друга во времени горных породах и рудных ассоциациях.

Наконец, интересно отметить, что в специальном номере журнала Всесоюзного химического общества им. Менделеева [15], посвященном вопросам генезиса природных углеводородов, П.Н. Кропоткин касается нового направления геологических исследований — нефтометаллогении, представляющей собой учение о формировании урана, ванадия, золота и некоторых других металлов за счет элементоорганических соединений, вынесенных из недр вместе с углеводородами. На задачах нефтометаллогении остановился в том же номере журнала Н.С. Бескровный.

Заканчивая главу, посвященную особенностям вещественного состава магматических и рудных образований, свидетельствующим в пользу их связи, подчеркнем еще раз основные положения.

1. Как геохимические, так и экспериментальные исследования не оставляют сомнений в том, что указанная и достаточно тесная связь существует.

2. В то же время интрузии в подавляющем большинстве случаев не являются источниками оруденения, но, как и полагают многие исследователи (Д.С. Коржинский, А.А. Маракушев, Р.М. Слободской и др.), образуются в ходе развития единого процесса, возникающего под влиянием мантийных флюидов.

## **ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ И РУДООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ХОДЕ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Мысль о том, что крупные и уникальные рудные месторождения отличаются своими, особыми геологическими условиями образования, была впервые со всей определенностью высказана в середине тридцатых годов американскими геологами А. Локком и П. Биллингслеем. Среди советских геологов к этой проблеме было привлечено усиленное внимание нами совместно с И.Н. Томсоном в конце шестидесятых годов [46]. В начале семидесятых годов к этой проблеме обратился также Н.Н. Боровко (1973 г.). Как было показано дальнейшими исследованиями, особенности формирования крупных рудных месторождений есть основания рассматривать как с региональной, так и с локальной точки зрения. В первом случае на передний план выдвигаются представления о рудоконцентрирующих системах нарушений, во-втором — об узлах повышенной эндогенной активности. Ниже оба подхода последовательно осуществлены в двух разделах данной главы. В соответствии с поставленной в монографии задачей особое внимание уделено магматическим аспектам проблемы, в разработке которых большая роль принадлежит В.А. Баскиной и А.М. Курчавову.

### **О ПОЛОЖЕНИИ МАГМАТИЧЕСКИХ И РУДООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СКВОЗНЫХ СИСТЕМ НАРУШЕНИЙ РУДОКОНЦЕНТРИРУЮЩЕГО ТИПА**

Особая роль сквозных систем нарушений в развитии магматических и рудообразующих процессов была впервые рассмотрена нами совместно с И.Н. Томсоном в 1968 г. [46].

При этом в качестве прообраза сквозных структур были приняты описанные в 1945 и 1948 гг. Н.С. Шатским глубинные дислокации, автономно пересекающие границы платформ и геосинклинально-складчатых систем. Помимо этой важной особенности, сходство подобных дислокаций и сквозных систем нарушений определялось их протяженностью в несколько тысяч километров, преобладающей широтно-меридиональной ориентацией, отклонением господствующего направления складчатости под влиянием структур рассматриваемого типа и осуществляемым ими контролем в размещении магматических образований. Основные признаки сквозных систем нарушений были суммированы в начале шестидесятых годов В.Е. Хаиным. В дальнейшем в ряде публикаций при участии автора данной монографии была дана их более подробная характеристика и поставлен вопрос о рудоконцентрирующем значении некоторых из них, контролирующих размещение наиболее крупных рудных объектов в пределах той или иной металлогенической провинции. Здесь мы приведем краткую выдержку из описания сквозных систем нарушений [57].

1. Сквозные системы нарушений включают структуры различных порядков и самые крупные из них достигают в длину несколько тысяч километров и в ширину свыше 500 км. Они носят трансконтинентальный и, возможно, глобальный характер. Структуры подчиненных порядков также отличаются значительной протяженностью при ширине в первые сотни и первые десятки километров. Господствующие признаки описываемого типа структур в большинстве своем являются общими для соответствующих образований различных порядков.

2. Сквозные системы нарушений пересекают границу континент—океан, продолжаясь на дне прилегающих акваторий, или по обрамлению глубоководных впадин, или в виде подводных хребтов, уступающих по своей ширине сквозным структурам, на продолжении которых они находятся. Некоторые из них выражены на дне океанов в качестве трансформных разломов.

3. Структуры описываемого типа пересекают границы платформ и разновозрастных геосинклинально-складчатых областей, прослеживаясь в их пределах как в одинаковых, так и в разнотипных признаках.

Большинство из них наследует структурный план докембрийского фундамента. В то же время складчатость более поздних периодов, попадая в сферу влияния сквозных систем, обычно меняет свое направление, приспособляясь к простиранию соответствующей системы. В отдельных случаях сквозная система нарушений может быть прослежена как ось, соединяющая места резких изгибов простираний разновозрастной складчатости.

4. Сквозные системы нарушений проявляются на земной поверхности фрагментарно, причем отдельные их звенья нередко кулисообразно подставляют друг друга. По простиранию сквозной структуры отдельные ее участки могут иметь отчетливо выраженный в геологических признаках характер или проявляться в скрытом виде, трассируясь только отдельными специфическими признаками.

5. Характерной особенностью описываемых структур является их повышенная по сравнению с фоном тектоническая нарушенность. При этом, однако, некоторые крупные и геологически отчетливо выраженные разломы региона при подходе к границам сквозных структур испытывают расщепление, или меняют простирание, или вырождаются. В то же время некоторые секущие по отношению к сквозной системе нарушений разломы не выходят за ее пределы. Наиболее характерные виды тектонических нарушений, обуславливающие внутренний рисунок описываемых систем,— сбросы, сдвиги и флексуры. При дешифрировании дистанционных материалов сквозные структуры различных порядков проявляются на снимках соответствующих масштабов в качестве зон повышенной густоты трещиноватости.

6. Сквозные системы нарушений имеют, как правило, древнее, обычно докембрийское заложение и в дальнейшем неоднократно оживляются в связи с процессами тектоно-магматической активизации. На поздних стадиях их формирования характерно появление простирающихся с ними согласно наложенных впадин, выполненных континентальной угленосной молассой.

7. Трансконтинентальные сквозные системы нарушений не имеют единой выраженности в геофизических признаках. Последние подчеркивают, однако, отдельные участки составляющих их структур порядков. Сюда относятся полосовые гравитационные и магнитные положительные аномалии и скопление подобных же локальных аномалий, образующих цепочки соответствующего простирания. Для сквозных систем нарушений на территории Приморья характерен повышенный тепловой поток, а на их продолжении на дне Японского моря располагаются эпицентры глубокофокусных землетрясений. Для некоторых сквозных структур установлена пониженная по сравнению с региональной мощностью земной коры и наличие под ними выступов мантии.

8. Сквозные системы нарушений отчетливо проявляются в особенностях современного рельефа, что легло в основу их выделения путем морфоструктурного анализа, разработанного И.К. Волчанской, Н.Т. Кочневой и Е.Н. Сапожниковой [7]. При этом протяженные структуры, проявляющиеся фрагментарно в геологических признаках, на морфоструктурных схемах нередко выглядят как единые линейные зоны с четко обозначенными границами.

9. Для этих структур характерен ряд специфических магматических признаков. В отдельных случаях структуры высших порядков служат экранами для крупных гранитных интрузивов, которые не проникают в их пределы, где преобладают субвулканические тела, свиты даек и нежков. По сравнению с региональным фоном здесь сосредоточены образования с повышенной многофазностью проявления. Среди как интрузивных, так и эффузивных магматических тел преобладают породы повышенной основности и щелочности, нередки здесь также и собственно щелочные разности.

10. Одной из главных особенностей сквозных систем нарушений является узловый характер проявления в их пределах наиболее активных тектонических и эндогенных процессов. В результате описываемые линейные структуры определяют дискретное размещение так называемых узлов повышенной эндогенной активности в местах пересечения разнонаправленных разломов. Именно эти узлы контролируют размещение большинства крупных рудных объектов, определяя рудоконцентрирующее значение соответствующих систем нарушений и являясь одновременно средоточием разного типа аномальных геологических признаков: повышенной тектонической нарушенности, специфических литологических и геохимических особенностей, локальных выступов пород фундамента, отличных по составу от фона магматических проявлений и, наконец, особой длительности и многоэтапности развития эндогенных процессов. Здесь уместно отметить, что новейшие данные, полученные при драгировании в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия, подтверждают узловое положение участков с повышенным содержанием рудных минералов, таких, как хромшпинелиды, магнетит, пирит, халькопирит, пирротин и др. Подобные участки приурочены к местам пересечения трансформными разломами рифтовой долины срединно-океанического хребта (Е.П. Дубинин, 1985 г.). Это особенно интересно потому, что, как

было отмечено выше, многие трансформные разломы служат продолжением рудоконцентрирующих структур на дне океанов. Е.П. Дубинин отмечает, что в период активизации магматических процессов по трансформным разломам происходит выделение ртути из недр Земли.

Приведенные описания сквозных систем нарушений позволяют искать их аналоги в первую очередь среди класса глубинных линейных дислокаций. Глубинный характер описываемых структур подтверждается не только трансрегиональной протяженностью наиболее крупных из них, но и приуроченностью к некоторым из них кимберлитовых трубок и очагов глубокофокусных землетрясений. Свидетельством связи подобных структур с подкоровыми процессами служит и упомянутое выше наличие под ними выступов мантии и пониженная по сравнению с региональной мощность земной коры. Указанием на глубинность является и длительность активности описываемых линейных структур, охватывающая продолжительные периоды развития верхних оболочек Земли, в течение которых земная кора испытывала многочисленные изменения, не повлиявшие на положение в пространстве пересекающих ее сквозных систем нарушений. С другой стороны, как уже упоминалось, геосинклинально-складчатые пояса и некоторые диагональные дизъюнктивы менее глубокого заложения изменяют свое простираие при подходе к сквозным системам нарушений, что свидетельствует о их подчиненном характере по отношению к этим последним. Наконец, тот факт, что сквозные структуры непрерывно прослеживаются с континентов на дне прилегающих акваторий, позволяет утверждать, что они, во всяком случае, углубляются на всю мощность гранитно-метаморфического слоя коры.

В монографии [57] было проведено сравнение между сквозными системами нарушений и рифтами и указано на многочисленные черты, сближающие эти два типа структур трансконтинентального порядка. Вместе с тем основным их различием служит значительно более явное и отчетливое по сравнению со сквозными структурами проявление рифтов в наземных геологических признаках. В результате высказано предположение, что скрытые сквозные системы нарушений на участке, где они выражены в завуалированной форме, проявляются на определенном этапе как зоны незавершенного рифтогенеза, в пределах которых структурная нарушенность земной коры не достигла той степени проницаемости, которая была необходима для массового поступления основной магмы на поверхность. На отдельных участках к сквозным системам нарушений бывают приурочены хорошо выраженные рифты.

На основании изложенных особенностей было дано следующее определение понятия "сквозная система нарушений" [57. с. 11]. Сквозные системы нарушений первого порядка представляют собой трансконтинентальные или глобальные линейные структуры, проявляющиеся на значительном протяжении в скрытом, завуалированном виде как линейно расположенные узлы разнотипных геологических аномалий. Эти структуры представляют собой древнейший глубинный широтно-

меридиональный каркас планеты и на протяжении ее истории неоднократно оживлялись под влиянием растягивающих и сжимающих усилий, определявших сложный тектонический рисунок их внутреннего строения и многоэтапное развитие эндогенных процессов.

Структуры подчиненных порядков в основном повторяют перечисленные признаки, хотя в их числе наряду с широтными и меридиональными могут на отдельных отрезках участвовать и близкие к ним по некоторым свойствам диагональные нарушения. Появление последних в ряде случаев связано, по-видимому, с активизацией отдельных, менее глубинных разломов, попадающих в сферу влияния крупной сквозной структуры. Здесь мы наблюдаем известное сходство с системами рифтов. В качестве примера, согласно описанию Е.Е. Милановского, можно привести средний сегмент Танганьикской зоны, имеющей меридиональное простирание и включающей частные грабены, простирающиеся в северо-северо-восточном и юго-юго-восточном направлениях.

Следует упомянуть, что в недавнее время к обобщениям по вопросу о природе сквозных систем нарушений обратился И.Н. Томсон с соавторами [48]. Ими предложен для этих структур термин "скрытые линеаменты", который не представляется удачным, так как в нем отсутствует основной признак рассматриваемых структур — их сквозной характер. Кроме того, термин "линеамент" принято употреблять в более широком значении — как линейной организованной структуры земной поверхности (Макаров, 1981 г.) [24]. И, наконец, "скрытыми" могут быть глубинные разломы иного типа, например, как это отмечает А.В. Пейве, в тех случаях, когда они являются погребенными. Трудно также согласиться с тем, что в число "скрытых линеаментов", которые авторы справедливо считают древним каркасом планет, можно наряду с прямолинейными включить и дуговые. Кроме того, с нашей точки зрения, нельзя считать, что все глубинные разломы, за исключением "скрытых линеаментов" можно отнести к пограничным. Ведь и первые из упомянутых структур могут быть на определенных участках пограничными и логичнее тогда было бы противопоставлять "скрытые линеаменты" явно выраженным.

Если теперь перейти непосредственно к вопросу о связи оруденения с магматизмом в свете концепции о долгоживущих сквозных системах нарушений, то следует сразу отметить, что здесь мы сталкиваемся с необходимостью принципиально нового подхода к его рассмотрению. Если с позиций геосинклиналиной концепции или представлений "новой глобальной тектоники" основной упор делается на связь определенных рудных формаций с магматическими образованиями соответствующего состава, то при рассмотрении магматизма сквозных систем нарушений ставится иная задача. Она заключается в выяснении тех особенностей магматизма, которые характеризуют упомянутые структуры в целом, определяя их особую эндогенную активность, следствием которой является и образование крупных рудных объектов вне зависимости от их формационной принадлежности. Магматические факторы концентрации разнотипного и разновозрастного эндогенного оруднения в наиболее общей форме выра-

жаются в появлении длительно существующих магматических аномалий, выявляемых в ходе внутрiformационного анализа.

Специально проведенное В.А. Баскиной изучение сквозных систем нарушений [4, 5] позволило ей сделать вывод, что магматические ассоциации сквозных рудоконцентрирующих структур представлены, наряду с прочими, комплексами с наибольшими основностью, щелочностью, градиентом накопления калия в сериях, контрастностью, диапазоном возрастов и составов, относительно высоким содержанием минерализаторов. Характерно одновременное поступление расплавов из разноглубинных источников, максимальные концентрации и дисперсии единого набора элементов-примесей (независимо от типа породы), как литофильных, так и фемофильных. Аномальный по своим особенностям магматизм проявляется на каждом тектономагматическом этапе, что делает существенным при выявлении связей с ним оруденения не только дорудного, но и пострудного магматизма.

Все сказанное позволяет заключить, что разнотипные магматические проявления в пределах сквозных систем нарушений не являются непосредственным источником рудоносных флюидов, но как те, так и другие служат в качестве закономерных звеньев единого длительного и многофазного эндогенного процесса. В этой связи необходимо отметить, что магматические аномалии проявляются в пределах сквозных систем нарушений дискретно и характер их может быть неодинаков на отдельных участках по простирацию упомянутых структур. Так, наряду с перечисленными выше наиболее типичными проявлениями магматизма повышенной основности и щелочности отдельные звенья той же сквозной системы нарушений могут включать только гранитные массивы, близкие по составу к регионально распространённым, как это установлено на территории Казахстана А.М. Курчавовым. На этих участках присутствие упомянутых структур устанавливается по их влиянию на латеральную зональность регионального магматизма, а их повышенная эндогенная активность фиксируется только как интенсивное поступление рудоносных флюидов. Сложные внутренние взаимоотношения разновозрастных и разнотипных проявлений магматизма и рудоносных эндогенных процессов являются главным объектом при изучении узлов повышенной и длительной эндогенной активности, описание которых приводится в следующем разделе данной главы.

Следует упомянуть, что металлогеническая роль дислокаций, отвечающих по своим особенностям сквозным системам нарушений, привлекает за последние годы внимание все большего числа исследователей. Приведем несколько примеров.

Изучение скрытых систем нарушений на территории Украинского щита было проведено Я.Н. Белевцевым и его соавторами (1982 г.) с использованием космических материалов. Нарушения упомянутого типа были установлены геолого-геофизическими и космогеологическими методами.

В.А. Крупенниковым (1986 г.) на территории Украинского щита описан Каневско-Новоукраинский глубинный разлом субмеридиональ-

ного простираения, представляющий собой длительно развивающуюся рудоконцентрирующую структуру. Существование подобной системы нарушений, шириной около 80 км, подтверждается особенностями разновозрастных геологических формаций, региональных геофизических полей и глубинного строения центральной части Украинского щита. В зоне этого нарушения последовательно возникали раннепротерозойские тела ультрабазатов, чарнокитов и многофазный комплекс ультраметаморфогенных гранитов; среднепротерозойский плутон габбро-анортозит-рапакивигранитной формации; центры позднедевонского щелочно-базальтоидного вулканизма и мезозойские эффузивы.

Описываемая автором рудоконцентрирующая структура контролирует размещение разнотипного оруднения: титанового, фосфорно-титанового, скарнового олово-вольфрамового, апатитового. В.А. Крупенников рассматривает описанную рудоконцентрирующую структуру в качестве фрагмента протяженного, трансконтинентального линеймента. Описание зоны 38-й параллели в США, приводимое А. Хейлзом [64] свидетельствует о том, что эта структура по ряду признаков может быть отнесена к числу рудоконцентрирующих. Восточная часть этой зоны выражена правосторонним сдвигом, цепью мезозойских и третичных интрузий, стратиграфическими изменениями поперек зоны и структурными аномалиями вдоль нее. Щелочные интрузивы и габброиды, включая ультраосновные интрузивы и кимберлиты, внедрялись в ее пределы в интервале времени с докембрия до эоцена. Западное продолжение зоны отмечено интрузивами, локальными структурными особенностями, стратиграфическими изменениями и криптоэкструзивными структурами. Зона контролирует крупные месторождения цинка, свинца, барита и флюорита. Месторождения приурочены к узлам ее пересечения крупными поперечными структурами. Начиная с 1969 г. о линейменте, контролирующем размещение известных рудных месторождений как на территории США, так и за ее пределами, пишет Я. Кутина [65, 66].

Интересно отметить, что именно существование сквозных систем нарушений с их фиксированным в пространстве в течение многих периодов и эпох положением и неоднократно возобновляющимся аномальным по отношению к фону глубинным магматизмом и гидротермальными процессами является тем препятствием, которое стоит на пути сторонников "новой глобальной тектоники", так как оно несовместимо с крупными перемещениями литосферных плит и ставит под сомнение утверждения о якобы повсеместно наблюдаемой зональности в размещении магматизма по отношению к предполагаемым зонам спрединга и субдукции. И хотя устойчивая временная последовательность событий позволяет, казалось бы, в известной степени отвлечься от той или иной исходной геодинамической концепции при обсуждении связи определенного типа оруденения с теми или иными магматическими формациями, однако мы бываем вынуждены вернуться к этим концепциям, как только попытаемся осмыслить возможные причины подобных связей. И здесь наряду с упомянутыми наиболее общими закономерностями на перед-

ний план выступают те геологические аномалии, которые являются неизменными спутниками сквозных систем нарушений на всех этапах развития мегаблоков. Устойчивая особенность магматической деятельности в пределах подобных структур с ее повышенной основностью и щелочностью в течение длительных периодов развития и приуроченность к ним наиболее крупных рудных объектов не могут быть объяснены с позиций тектоники плит и заставляют внести дополнительные элементы в представления о тектоно-магматической активизации. Автономность процессов, протекающих в рамках сквозных систем нарушений, по отношению к развитию соответствующих процессов в мегаблоках в целом, так же как и факты пересечения сквозными структурами границ последних, свидетельствуют о том, что подобные структуры связаны с наиболее глубинными и долгоживущими источниками вещества и энергии. Второй важной особенностью подобных структур является открываемая ими возможность перехода от глобальных и региональных аспектов проблемы к ее локальным аспектам. Аномалии служат в этом плане связующим звеном и позволяют переходить к непосредственному прогнозу перспективных участков, что невозможно сделать, опираясь на геодинамическую концепцию тектоники плит.

Возвращаясь к вопросу о магматизме сквозных систем нарушений с позиций представлений о магматических формациях, отметим, что формации сквозных систем нарушений могут быть в ряде случаев определены и как "субформации". Это следует из того, что многие из них выделяются внутри регионально распространенных формаций по ряду аномальных признаков, что делает необходимым привлекать при их выделении внутрiformационный анализ. Характерными признаками подобных "субформаций", как уже упоминалось, являются их гетерогенность, контрастность слагающих серий и многоактность внедрения магматических расплавов. Они были подробно изучены В.А. Баскиной [5], которой их особенности и взаимоотношение с региональными магматическими формациями охарактеризованы следующим образом.

1. Региональные магматические формации с приближением к сквозным рудоконцентрирующим поясам обнаруживают латеральные изменения — в их составе возрастает роль разностей с повышенными основностью, щелочностью,  $K/Na$  отношением, концентрациями некогерентных элементов, лития, бора, фтора, вплоть до появления редких и аномальных магматических образований. Наряду с этим в рудоконцентрирующих поясах формируются серии коматиитов, меймечитов, пикритов, высококалийевых базанитов и базальтов, щелочно-основные с карбонатитами.

2. Эти процессы устойчиво повторяются в одних и тех же сквозных рудоконцентрирующих структурах на разных этапах тектонического развития окружающих территорий. Они прослежены в связи с архейским магматизмом щитов и чехла древних платформ, а также на фоне разновозрастных фанерозойских вулканических поясов и в областях позднекайнозойской активации.

3. Особенности развития магматизма рудоконцентрирующих струк-

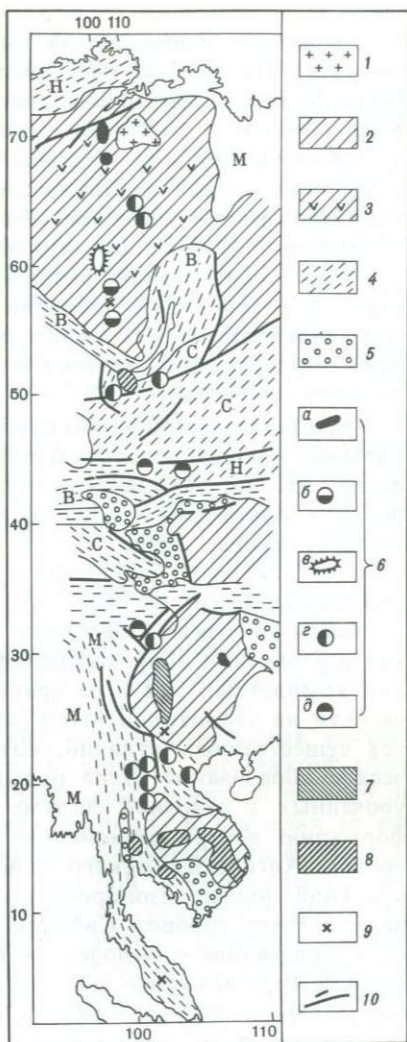
**Рис. 12.** Схема размещения аномальных магматических узлов в трансасиатской сквозной системе нарушений

1 — Анабарский щит; 2 — древние платформы; 3 — выходы траппов в древних платформах; 4 — области разновозрастной складчатости; 5 — впадины неотектонического этапа развития, выполненные молассаами; 6 — магматические комплексы: а — щелочные—ультраосновные субвулканические тела, б — траппы и базальты повышенной щелочности, в — трубки взрыва, г — гипербазиты и габброиды, д — щелочные и щелочно-основные породы; 7 — триасовые базальты Южно-Китайской платформы; 8 — неоген-четвертичные базальты; 9 — рудные месторождения; 10 — разломы. Возраст складчатости: В — байкальский, С — каледонский, Н — варисский, М — мезозойский

тур связаны с влиянием систем глубинных дислокаций, контролирующих процессы метасоматических изменений в мантии и периодический привнос калия и некогерентных элементов в магматические очаги разных уровней [5. С. 37].

В отличие от рудоносных, в понимании коллектива ВСЕГЕИ, контрастные формации этого рода не рассматриваются, как было отмечено выше, в качестве рудогенерирующих, но служат индикаторами глубинных структур, определяющих размещение наиболее крупных рудных объектов. Магматические комплексы аномального состава располагаются в пределах рассматриваемых сквозных систем нарушений дискретно, в узлах повышенной тектонической и магматической активности. Площади подобных узлов варьируют в зависимости от величины системы нарушений, к которой они принадлежат.

Ранее нами были описаны особенности магматизма и связанных с ним эндогенных проявлений для сквозных систем нарушений первого порядка. К их числу, в частности, отнесена сквозная структура, пересекающая Азиатский континент в интервале между сотым и сто пятым меридианами (рис. 12). Эта структура была выделена нами по совокупности аномальных геологических и некоторых геофизических признаков и подтверждена путем морфоструктурного анализа Е.Н. Сапожниковой [55]. На своем протяжении с севера на юг она пересекает Сибирскую платформу, области герцинской и кале-



донской складчатости, проходит вдоль западной границы Китайской платформы и сливается на юге с меридиональной складчатостью мезозоид Индокитая. Ряд признаков позволяет заключить, что она была заложена еще в докембрии. Несмотря на различия между отдельными звеньями этой трансконтинентальной структуры, ее единство и глубинную природу убедительно подтверждают приуроченные к ней узлы повышенной тектонической нарушенности, сопровождающиеся сложными магматическими комплексами. По составу, длительности и многофазности формирования эти комплексы отличаются от соответствующих образований, развитых в пределах той структуры земной коры, в которой они проявляются. На площади узлов повышенной эндогенной активности отдельные фрагменты скрытой меридиональной структуры проявляются в виде локальных разломов и поясов даек различного состава.

Узлы повышенной эндогенной активности, принадлежащие рассматриваемой трансконтинентальной структуре, различны по своему профилю, что не находится в прямой зависимости от их приуроченности к платформам или геосинклинально-складчатым областям, а связано, скорее всего, с той или иной степенью проницаемости сквозной системы нарушений в период эндогенной активности. Это видно, например, из того, что ультраосновные, щелочно-ультраосновные и собственно щелочные магматические расплавы проявлялись как в узлах на Сибирской платформе (Маймеча-Котуйский, Чедабецкий комплексы), так и на границе каледонской и герцинской складчатости на территории МНР (комплекс Мушугай-Худук). Примером тех существенных отличий, которые позволяют выделять магматические образования узлов повышенной эндогенной активности, приуроченных к сквозной системе нарушений, в самостоятельную субформацию внутри регионально развитой формации, могут служить траппы Ангаро-Илимского района. Они проявлены в виде меридиональной полосы изолированных выходов и по отношению к среднему составу траппов Сибирской платформы отличаются повышенным содержанием щелочей, и в особенности калия, а также повышенной железистостью и богатством летучими компонентами. Эндогенные процессы этого района отличаются также повышенной длительностью и многофазностью по сравнению с регионально развитыми траппами триаса. Наиболее поздними магматическими образованиями являются здесь посленижнеюрские микродолериты, в след за которыми происходил гидротермально-метасоматический процесс формирования железных руд. При этом гидротермальная деятельность продолжалась и позднее, накладываясь на продукты мел-палеогенового выветривания (Вахрушев, 1979 г.).

Большинство описываемых узлов контролирует также интенсивное и длительное развитие гидротермальных процессов, в результате которых формируются крупные и сложные по составу рудные поля и месторождения.

Другие примеры характерного магматизма сквозных систем нарушений первого порядка были рассмотрены в коллективной монографии, посвященной глобальным закономерностям размещения круп-

ных рудных месторождений [53]. В качестве представителей подобных структур описаны широтные вулканические пояса Канадского щита, сформировавшиеся, согласно большинству исследователей, в качестве инициальных образований на протокоре. Характерна их барьерная роль по отношению к крупным гранитным интрузиям архейского возраста, не проникающим в их пределы и создающим окружающий их региональный фон. Здесь, таким образом, по сравнению с предыдущим примером магматизм сквозных систем нарушений резко отличен от упомянутого фона и образует самостоятельные формационные ряды. Широтные сквозные системы нарушений являются долгоживущими и неоднократно активизировались в течение архея и протерозоя, а в отдельных случаях сопровождалась возобновлением магматической деятельности в палеозое и мезозое. Описание особенностей магматизма рассматриваемых поясов приведено В.А.Баскиной. Согласно этому автору, их развитие на всех этапах сопровождалось проявлением вулканических базальтоидных, сильно дифференцированных формаций. Присутствие в их составе коматитов указывает на существование условий повышенной проницаемости для глубинных расплавов. Преобладающий набор пород включает наряду с ультрабазитами базальты (или андезиты) и риолиты.

На фоне вулканизма толетового профиля в пределах поясов присутствуют отдельные ареалы субщелочных и щелочных серий. Щелочной уклон проявляется унаследованно в разновозрастных комплексах этих ареалов, а длительность и интенсивность вулканической активности в их пределах выше, чем в зоне в целом.

Из числа описанных вулканических поясов, отнесенных к сквозным системам нарушений Канадского щита в упомянутой монографии была выделена рудоконцентрирующая структура первого порядка, ограниченная 46-й и 50-й параллелями. В пределах ее расположен ряд крупных и уникальных рудных месторождений, формационная принадлежность которых в значительной мере зависит от того, какую металлогеническую зону пересекает рудоконцентрирующая структура. К числу упомянутых месторождений относятся Садбери (медно-никелевая сульфидная формация), Абитиби (золото-кварцевая и золото-сульфидная формации), рудный район Элиот-Лейк (формация урановых конгломератов) и др.

Таким образом, и здесь, как для приведенного выше примера трансзиатской рудоконцентрирующей структуры, мы имеем основание говорить не о той или иной рудоносной магматической формации, а о специфическом магматизме сквозных рудоконцентрирующих систем нарушений, в узлах которых формируются наиболее крупные объекты данной металлогенической провинции.

Подобные же соотношения рудных и магматических образований были прослежены на примере рудоконцентрирующих структур подчиненных порядков. К их числу относится хорошо изученная Кавалерово-Дальнегорская широтная сквозная система нарушений на территории Приморья. Особенности ее магматизма были подробно описаны В.А. Баскиной [4]. Согласно упомянутому автору, в пределах этой системы находятся магматические проявления всех из-

вестных мезокайнозойских вулканических формаций, начиная от домеловых диабазов и юрских щелочных базальтов и кончая неоген-четвертичными оливиновыми и щелочными базальтами. Наряду с этим на западном продолжении зоны широко распространены более древние изверженные породы, связанные с эпохами ранне- и позднепалеозойской активизации.

По сравнению с одновозрастными и однотипными по составу регионально распространенными формациями вулканы в пределах рудоконцентрирующей структуры обнаруживают специфические отличия. Им свойственна концентрация пород фемического состава, образующих пояс мощностью 40—60 км. В пределах этого пояса мезозойские ультрабазиты и неогеновые щелочные базальты контролируются продольными по отношению к господствующей складчатости структурными швами, однако сгущение выходов этих пород наблюдается на пересечении подобных швов с описываемой широтной системой нарушений. По простиранию Кавалерово-Дальнегорской сквозной структуры с востока на запад месторождения скарновой свинцово-цинковой формации сменяются оловорудными касситерит-силикатной формации. Рудные узлы, как и в случае рудоконцентрирующих структур первого порядка, отличаются повышенной степенью тектонической нарушенности, многофазностью и полифациальностью магматизма, контрастностью состава магматических серий.

Таким образом, вне зависимости от масштаба сквозных систем нарушений сохраняется фемический профиль магматизма с существенной ролью ультраосновных и щелочно-основных расплавов, отличный от соответствующего профиля регионально развитого магматизма. Во всех приведенных примерах магматические образования повышенной основности и щелочности характеризуют рудоконцентрирующие структуры на всем протяжении, располагаясь, однако, дискретно в виде узлов повышенной эндогенной активности. Оруднение, приуроченное к подобным узлам, может принадлежать к различным рудным формациям и в большинстве случаев значительно по масштабу.

Как уже было отмечено, подход к вопросу о связи оруднения с магматизмом для рудоконцентрирующих структур иной, чем тот, который осуществляется коллективом ВСЕГЕИ. В первом случае эта связь более отдаленная и служит в основном свидетельством принадлежности магматических серий и рудоносных эманаций, формирующих крупные месторождения, к единой системе глубинных нарушений. Во втором случае эта связь более тесная, хотя только в единичных случаях и она может быть названа генетической.

В заключение к этому разделу главы отметим, что выше мы отнесли магматические комплексы сквозных систем нарушений к субформациям, стараясь подчеркнуть определенную общность составляющих их серий с близкими к ним по возрасту регионально распространенным. Нельзя, однако, при этом забывать, что характерной особенностью магматизма сквозных систем нарушений является длительность его развития, учитывая которую мы для каждого конкретного рудного узла встречаемся с необходимостью

говорить о рядах магматических субформаций. При этом каждая субформация в таком ряду во многих случаях является гетерогенной, объединяя серии, происходящие из разноглубинных источников.

### ОБ УЗЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ЭНДОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ

Как было отмечено в предшествующем разделе, одной из главных особенностей сквозных систем нарушений является узловым характер проявления в их пределах наиболее активных тектонических и эндогенных процессов.

Существование в областях интенсивного развития магматизма особых аномальных участков, в границах которых этот процесс характеризуется повышенной по сравнению с фоном длительностью и многостадийностью, подмечено уже давно. Так, в конце сороковых годов автором на территории Приморья были описаны участки, не превышавшие по площади нескольких десятков квадратных километров, служившие за время от позднего мела до раннечетвертичного периода постоянными вместилищами интрузивных тел, мощных даек и жерловых вулканических образований (1949 г.). Тогда же было высказано предположение, что причину подобной длительности магматических процессов следует искать в их связи с глубинными источниками.

В дальнейшем оказалось, что на многих крупных рудных месторождениях история развития магматизма охватывает еще более продолжительные отрезки времени и достигает сотен миллионов лет. Таким образом возникли представления об узлах повышенной и длительной эндогенной активности, связь которых с глубинными подкоровыми источниками подтверждается в числе прочего их преимущественной приуроченностью к участкам взаимных пересечений сквозных систем нарушений. Наличие подобных связей проявляется и в особенностях магматизма — в присутствии контрастных по составу магматических серий, образующихся благодаря синхронному действию разноглубинных очагов, возникновение которых есть результат взаимосвязанных процессов мантийного и корового магмообразования. Оруднение, формирующееся во время этого процесса, также может иметь разноглубинный источник.

Узлы повышенной эндогенной активности отличаются интенсивной тектонической нарушенностью, которая обусловлена наряду с элементами сквозных систем нарушений участием в их строении разнотипных и разнонаправленных разломов. Рисунком, создаваемый линейными нарушениями, осложняется круговыми разломами, ограничивающими отдельные, как вскрытые на поверхности, так и расположенные на глубине интрузивы. Характерные пересечения нескольких круговых структур, расположение сегментов которых нередко напоминает веник цветка. Такие сегменты представляют собой участки наиболее интенсивной эндогенной активности.

Как видно из всего сказанного, на строение узлов повышенной

эндогенной активности большое влияние оказывают магматические процессы. Характерные для многих из них купольные поднятия или кальдерообразные опускания связаны обычно с внедрением интрузивных масс или соответственно с вулканическими извержениями. Структурам подобного типа И.Н. Томсоном было дано название очаговых. Предполагается, что очаговые ареалы образуются в зонах сквозных систем нарушений и определяют границы очагов палингенных магм [47]. Очаговые ареалы и отвечающие им структуры образуются в периоды повышенной тектонической и магматической активности. Характерные для них купольные и кальдерообразные формы отличают их в современном рельефе и отражаются в геофизических и литологических аномалиях. Размеры очаговых блоков колеблются в различных регионах от 400 до 1500 км<sup>2</sup>, что отвечает соответственно площадям рудных узлов и районов. В купольных поднятиях очаговых блоков изверженные породы представлены, как правило, выходами гранитов и гранодиоритов или относительно кислых и субщелочных субвулканических тел, а по их обрамлению на поверхность проникают андезиты или базальты. Подобные соотношения магматических образований свидетельствуют о том, что очаговые структуры являются проводниками не только коровых палингенных, но и более глубинных магм.

Как можно видеть, очаговые структуры по характеру своего магматизма и ряду других геологических особенностей близки к определенному типу описанных в главе I сводовых поднятий, но отличаются от них своими размерами.

В рудных узлах и районах, приуроченных к очаговым структурам, нередко наблюдается зональность в размещении различных рудных формаций по отношению к купольным и кальдерообразным структурам. Строение отдельных очаговых структур во многих случаях усложняется дочерними постройками.

Подобные очаговые структуры были в недавнее время описаны при участии автора в Арму-Большеуссурском рудном районе Приморья [34]. При этом было показано, что выраженные в современном рельефе купольные поднятия и кальдерные депрессии представляют собой дочерние структуры, образовавшиеся по периферии крупного сводового поднятия. Образование куполов произошло в связи с внедрением в конце мела и в палеогене интрузий вулканоплутонического типа габбро-монцонит-гранодиоритовой и габбро-монцонит-сиенитовой формаций. Кольцевые структуры, относящиеся к отрицательным формам рельефа, представляют собой кальдеры, выполненные эффузивами. Оловянная минерализация располагается зонально вокруг купольных поднятий и приуроченных к ним интрузивных тел. Так, в пределах купола Трапедия в центральной части подчиненного ему малого купола развита оловянно-вольфрамовая минерализация с сульфидами меди и полиметаллов, а по периферии — оловянно-полиметаллическая. Особенно сложная картина распределения минерализации наблюдается в случае сопряжения сопоставимых по масштабу, но различных по режиму формирования структур. Так, в северной и восточной частях Арму-Кулумбинского купола развита оло-

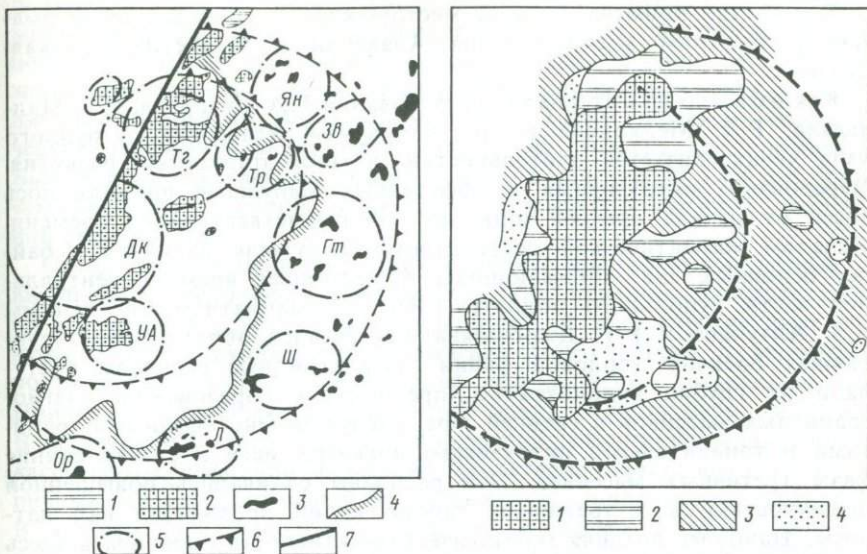


Рис. 13. Схема размещения магматических образований в связи с купольными структурами Арму-Большеуссурского района (по И.К. Волчанской, С.М. Родионову и автору)

Орогенные гранитоидные интрузивные формации: 1 — габбро-плагногранитная; 2 — гранодиорит-гранитная; 3 — габбро-диорит(монзонит)-гранодиоритовая; 4 — западная граница ареала вулканитов; 5 — интрузивно-купольные поднятия: Тг — Тигриное, Дк — Дальнекутское, УА — Усть-Арминское, Тр — Трапедия, Ян — Янтарное, Зв — Звездное, Гт — Горнотаежное, Ш — Шандунское, Л — Лысогорское, Ор — Ороченское; 6 — внешняя граница Дальненского свода и граница его ядра; 7 — разломы

Рис. 14. Схема размещения рудной минерализации в связи с купольными структурами Арму-Большеуссурского района (по С.М. Родионову, И.К. Волчанской)

Распределение металлов: 1 — олова и вольфрама; 2 — олова, вольфрама, железа и меди; 3 — олова, свинца и цинка; 4 — сурьмы и ртути

вянно-вольфрамовая и оловянно-вольфрамово-молибденовая минерализация. В юго-западной части, где сказалось влияние Нижне-Кулумбинской отрицательной кольцевой структуры, проявлена главным образом золотая, медная и полиметаллическая минерализация (рис. 13, 14).

Как нами показано ранее на примерах ряда крупных рудных объектов [52, 54], все они с полным основанием могут быть отнесены к узлам длительной и интенсивной магматической активности. При этом определенные особенности магматических процессов закономерно повторяются на крупных и уникальных рудных месторождениях вне зависимости от их формационной принадлежности. Эти особенности наиболее отчетливо проявлены на крупных среднетемпературных месторождениях и теряют свои характерные черты у наиболее высокотемпературных. Для обоснования высказанных положений мы приведем ниже описание по литературным данным магматических комплексов некоторых крупных и уникальных рудных узлов месторождений, принадлежащих к различным рудным формациям.

\* В качестве примера медных месторождений колчеданной формации рассмотрим месторождения Алаверди и Маднеули в Закавказье.

Как известно из материалов исследований Г.А. Казаряна, Э.Г. Малхасяна, Р.Л. Мелконяна и др., магматизм Алавердского рудного узла характеризуется длительностью и многоэтапностью развития. Чередование интрузивных и эффузивных импульсов продолжалось здесь от начала средней юры до плиоцен-четвертичного времени. Началом магматической деятельности послужили излияния в байосе основных лав, обнажающихся в настоящее время в центральной части купольного поднятия. Юрский магматизм (по данным А.З. Алтуняна и Р.Т. Джрбашяна) завершился образованием эруптивных брекчий жерловой фации. Базальтоидные расплавы поступали из глубин недонекратно, предшествуя образованию плагиогранитных массивов в средней юре, следуя за многофазными гранитами и тоналитовыми интрузивами нижнего мела и слагая ранние фазы третичных массивов. Эти расплавы отличались повышенной щелочностью, а в третичных габбро калий преобладал над натрием. Наиболее поздняя магматическая активность проявилась здесь в излиянии плиоцен-четвертичных базальтов, простирающие поля которых, как это характерно для многих узлов длительной эндогенной активности, трассирует простирающие скрытой сквозной системы нарушений.

Извержением основных эффузивов в байосе началась и магматическая деятельность на участке медноколчеданного и барит-полиметаллического месторождения Маднеули, изучавшегося В.И. Бачалдиным, Г.А. Твалчрелидзе, Ю.И. Назаровым и В.И. Гугушвили. Этот узел, расположенный у западной границы меридиональной сквозной системы нарушений, приурочен к участку ее пересечения широтными и северо-восточными разломами. Последовавшие в верхнемеловое время интрузивные и эффузивные фазы кислого магматизма сопровождалась формированием вулканической жерловины. Богатство поздних фаз этого процесса летучими компонентами привело к образованию предрудных эруптивных брекчий. В пределах узла отмечены также пострудные дайки диабазов меридионального простираения.

В качестве примера эндогенных процессов крупнейших медно-молибденовых месторождений приведем описание района Бьютт в США в соответствии с данными Ч. Мейера, Э. Ши, Ч. Годдарда и др. Здесь месторождения меди и ряда других металлов расположены в пределах интрузивного комплекса "батолита Баулдер". Абсолютный возраст интрузива составляет 70—80 млн лет. В составе его наиболее ранняя фаза представлена габброидами, а последующие — гранодиоритами и более поздними кварцевыми монционитами, внедрившимися в результате двух последовательных фаз. Кварцевые монциониты и сопровождающие их аплиты пересечены также дайками кварцевых порфиров. Оруденение приурочено к ранним кварцевым монционитам и представлено двумя стадиями — ранней, приведшей к образованию кварц-молибденитовых прожилков и пос-

ледующей, главной стадией формирования жил с существенно медной минерализацией. Возраст серицитовых оторочек, связанных с главной стадией минерализации, определен как 58 млн лет. Рудные жилы пересекаются двумя генерациями риолитовых даек с абсолютным возрастом 48 и 40 млн лет. Таким образом, магматическая гидротермальная деятельность на участке месторождений Бьютт продолжалась по крайней мере в течение 40 млн лет, причем весь этот период отличался чрезвычайно высокой эндогенной активностью.

Среди оловорудных формаций наиболее высокотемпературные — кварц-касситеритовые и грейзеновые, как правило, пространственно ассоциируют с массивами гранитоидов. В этих случаях даже для относительно крупных месторождений длительность и многофазность магматического процесса не всегда твердо устанавливается. Причины подобных соотношений пока недостаточно изучены. В отличие от этого для месторождений касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций характерна приуроченность к типичным узлам длительной и интенсивной эндогенной активности. В качестве представителей последних приведем описание эндогенных процессов Комсомольского оловорудного узла в Хабаровском крае и месторождения Дубровского в Приморье.

Положение Комсомольского рудного узла в области раннемеловой складчатости контролируется широтной рудоконцентрирующей структурой, прослеживающейся в район Комсомольска-на-Амуре от побережья Татарского пролива. В ее пределах рудный узел непосредственно приурочен к месту пересечения с протяженной зоной меридиональных дислокаций [52]. Процесс мезокайнозойской активизации продолжался здесь от раннего мела до раннечетвертичного времени включительно. В течение этого периода на площади в  $30 \times 40$  км произошел ряд событий, связанных с глубинной эндогенной активностью. К концу раннего мела относится внедрение гранитной магмы, сопровождавшееся интенсивным окварцеванием и турмалинизацией вмещающих осадочных пород. Затем, после некоторого перерыва, образовались покровы кислых эффузивов, в основании которых залегают конгломераты с галькой гранитов и кварц-турмалиновых метасоматитов. Далее, в начале позднего мела излились лавы андезитового состава, прорванные после короткого перерыва небольшими интрузиями пестрого состава. Вслед за этим произошло образование главной части рудной минерализации, представленной кварц-турмалиновыми метасоматитами, содержащими минералы олова, свинца, цинка, меди, мышьяка и вольфрама. Возраст оруденения определяется как поздний мел (70—90 млн лет). После перерыва магматическая деятельность возобновилась, и в миоцене и в раннечетвертичное время произошло излияние базальтов. Таким образом, магматизм продолжался с перерывами на площади Комсомольского рудного узла в общей сложности свыше 100 млн лет.

Вторым примером узла повышенной эндогенной активности из числа оловорудных месторождений, принадлежащих к касситерит-силикатной формации, может послужить месторождение Дубровское

Кавалеровского рудного узла в Приморье. Согласно данным В.В. Анахова, в пределах рудного поля на дислоцированных нижнемеловых терригенных отложениях залегают верхнемеловые порфириды и присутствуют многочисленные дайки изверженных пород, сложно сочетающиеся с рудными проявлениями и эксплозивными брекчиями. Среди даек присутствуют как верхнемеловые, так и эоценовые образования. Буровыми скважинами на глубине от 400 м и более от земной поверхности под месторождением был обнаружен верхний контакт массива лейкократовых аплитовидных гранитов. Возраст гранитов, определенный калий-аргоновым методом, 55 млн лет. Возраст преобладающего оруднения так же определен как эоценовый.

По данным В.В. Анахова, на месторождении установлена последовательность эндогенных проявлений (от древних к молодым): дайки фельзитов (95 млн лет) — дайки дацитовых порфиров — эксплозивные брекчии — дайки андезито-дацитовых порфиров — касситерит-хлоритовое и сульфидное оруднение — дайки диоритовых порфиров — кварц-флюорит-кальцитовая минерализация с пиритом — дайки диабазов и базальтов (40 млн лет)<sup>1</sup>.

Таким образом, длительность эндогенного процесса на месторождении определяется интервалом от 95 до 40 млн лет. Вместе с тем установлено, что дорудные андезито-дацитовые порфиры цементируют брекчию, содержащую обломки гранитов, а дайки диабазов являются пострудными. Одной из особенностей эндогенных процессов на месторождении, на которую следует обратить внимание, является значительный разрыв между формированием гранитов и продуктивного оруднения, разделенных образованием брекчий и внедрением даек.

Среди крупных золоторудных месторождений довольно много примеров длительности и повышенной активности эндогенных процессов. В качестве одного из них приведем краткое описание месторождения Хаураки на северном острове Новой Зеландии, изучавшееся А.М. Финлейсом, К.А. Роджерсом и другими геологами.

Месторождение приурочено к системе меридиональных дислокаций, входящей в состав глобальной меридиональной структуры того же простиранья. Эффузивная деятельность в районе узла проявлялась, по-видимому, еще в доюрское время, судя по тому, что в осадочных породах юры присутствуют граувакки. Смятые в складки породы мезозойского основания были прорваны интрузией тоналитов и дайками порфиров. Интенсивная вулканическая деятельность началась в миоцене излиянием андезитов и продолжалась с перерывами в три этапа, последний из которых сопровождался образованием различных фациальных разновидностей риолитов. В плейстоцене в рудном поле произошло внедрение базальтовых даек, а на западном берегу залива Хаураки — извержение щелочных оливиновых базальтов, в которых были установлены нодулы ультраосновного состава. Рудные эманации следовали за первым и третьим этапами вулканической

<sup>1</sup> Определения возраста произведены К-Аг методом в лаборатории ИГЕМ АН СССР, материалы И.Н. Кигая и В.А. Баскиной.

деятельности, в то время как второй, с наименьшим проявлением дифференциации расплавов, был безрудным. Возраст оруденения Хаураки определяется как поздний плиоцен.

Если в большинстве приведенных примеров наряду с многоэтапностью эндогенных процессов на соответствующих месторождениях общая длительность этих процессов ограничивалась десятками миллионов лет, то имеются рудные узлы, где прерывистая многоэтапная магматическая и гидротермальная деятельность устанавливается в общей сложности на протяжении сотен миллионов лет. К их числу относятся, например, представители молибден-вольфрамовых формаций, такие, как Джидда в Забайкалье.

Месторождение Джидда расположено в пределах трансрегиональной сквозной системы нарушений меридионального простирания. По данным изучавших его геологов, в основании разреза на этом участке залегает толща метаморфизованных диабазов, спилитов и порфиритов кембрийского возраста, пронизанная межпластовыми залежами ультраосновных и основных пород. Вулканогенная толща прорвана каледонскими гранитоидами, не сопровождающимися рудной минерализацией. Магматическая деятельность возобновилась в мезозое в момент внедрения лейкократовых, богатых калием гранит-порфиров, с которыми, по данным М.М. Повилайтис (1975 г.), во времени и пространстве связано молибденовое и вольфрамовое оруденение Джидды.

Многофазный интрузив рудного поля вольфрам-молибденового месторождения Тырнауз приурочен к участку пересечения меридиональной сквозной системы нарушений с серией сближенных разломов близширотного направления. Согласно В.В. Ляховичу (1976 г.), наиболее ранними магматическими проявлениями, возраст которых здесь точно не установлен, являются выходы пироксенитов. За ними следуют небольшие массивы и дайки лейкократовых гранитов с абсолютным возрастом 20 млн лет, а за ними крупное интрузивное тело Эльджуртинского гранита, возраст которого определен в 2 млн лет. Установлено, что Эльджуртинские граниты секут рудоносные скарны и кварцевые жилы с молибденитом и, в свою очередь, пересекаются жилами сульфидных скарнов. Магматическая деятельность завершается внедрением мощной дайки андезито-базальтов, которые связывают по времени с последними извержениями Эльбруса.

Особенно четко проявляется длительность и многоэтапность эндогенных процессов в узлах некоторых свинцово-цинковых месторождений. Так, в Забайкалье на полиметаллическом узле Дарасун, по данным Д.А. Тимофеевского (1972 г.), эндогенная активность проявлялась неоднократно на протяжении от раннего палеозоя до кайнозоя включительно. Этот рудный узел расположен в пределах протяженной широтной зоны нарушений, отчетливо проявленной на этом участке в расположении поясов даек и мелких интрузивных тел и фрагментов широтных разломов. В строении его участвует также меридиональная сквозная система нарушений, прослеживающаяся на территорию Забайкалья из Монголии. Наиболее ранними являются внедрения мелких тел ультраосновного и основного состава. В ин-

тервале времени от карбона до раннего мезозоя происходило внедрение разновозрастных комплексов гранитоидов. В конце этого периода гидротермальная деятельность проявилась в виде процессов турмалинизации и появления в гранитах и их жильных дериватах рассеянной минерализации молибдена и вольфрама.

После внедрения в позднем палеозое—раннем мезозое основных даек сформировались щелочные и субщелочные граниты предположительно триас-юрского возраста. Далее, в течение средне-позднеюрского времени происходило формирование дайковых полей, субвулканических тел и вулканитов среднего и кислого состава. Среди них были широко распространены взрывные воронки, переполненные обломками кислых субвулканических пород и свидетельствующие о богатстве исходных магм комплекса летучими компонентами. К этому периоду приурочено все продуктивное оруденение Дарасунского узла.

Магматические процессы продолжались в раннем мелу, сопровождаясь формированием субвулканических тел фельзитов и фельзит-порфиров, и завершились образованием предположительно послемезозойских эффузивов и даек базальтоидного состава. С раннемеловыми фазами альпийского цикла в районе связывается кинварное и флюоритовое оруденения. Таким образом, особенности магматизма Дарасунского рудного узла свидетельствуют об исключительной длительности магматического процесса и о контрастности составов магматических проявлений, включающих многие разности магматических пород от ультрабазитов до щелочных и лейкократовых гранитов и фельзитов. При этом повторное проявление базальтоидных расплавов служило каждый раз началом интенсивной активизации эндогенных процессов в пределах описываемого региона.

Что касается самого продуктивного оруднения, то формирование его, согласно Д.А. Тимофеевскому, было длительным, многостадийным и привело к образованию разнообразных рудных минералов. Наиболее ранние рудные гидротермальные проявления, предшествовавшие внедрению даек плагiogранит-порфиров — это безрудные кварцевые жилы и, возможно, кварцевые жилы с молибденитом. После внедрения даек выделено семь стадий оруденения, разобщенных тектоническими подвижками. Из них наиболее ранней была кварц-турмалиновая стадия, сопровождавшаяся образованием небольшого количества пирита и вольфрамита, а наиболее поздними — кварц-сульфоантимонитовая и карбонатная стадия минерализации. Особо следует отметить, что спектр рудных элементов Дарасунского района включает более пятнадцати составляющих, и среди них такие контрастные по своим геохимическим тенденциям, как олово, с одной стороны, и кобальт и никель — с другой. Таким образом, длительность магматического процесса в пределах Дарасунского рудного узла может составлять, учитывая значительные перерывы, около 400 млн лет, а общая продолжительность гидротермальной деятельности, если ее началом считать турмалинизацию, сопровождающую позднепалеозойский интрузивный комплекс, — около 150 млн лет.

Обращает на себя внимание, что, хотя в позднем палеозое гра-

нитный магматизм в пределах описываемого рудного района достиг широкого размаха, сколько-нибудь существенной рудной минерализации с ним связано не было. Только в начале мезозоя в результате активизации глубинных (вероятно мантийных) источников, сопровождавшейся поступлением в земную кору базальтоидных расплавов, возник интенсивный поток эндогенных эманаций, послуживший причиной образования не только всей совокупности рудной минерализации района, но, вероятно, и кислых по составу магм, насыщенных летучими компонентами.

Уже упоминавшийся в главе I уникальный по своим масштабам полиметаллический рудный район Сулливан на западе Канады приурочен в пределах широтной рудоконцентрирующей структуры к узлу интенсивной тектонической нарушенности. Его образуют пересечения меридионального линеамента Кутенейской арки с северо-западным линеamentом рва Скалистых гор и широтными разломами Кимберлей и Хидден-Хэнд. По данным Дж. Лича и Р. Уонлесса [67] среди изверженных пород рудного района наиболее древними являются силлы и дайки кварцевых габбро и диабазов, возраст которых с помощью К-Аг метода был установлен в интервале 1500—1100 млн лет. С этими силлами, по-видимому, генетически связаны кварцевые и кварц-карбонатные прожилки, тесно ассоциирующиеся с ними в пространстве и содержащие пирит, пирротин, халькопирит и немного галенита и сфалерита. Вкрапленность этих сульфидов отмечается также в породе силлов. Силлы прорваны интрузиями докембрийских гранитов, формирование которых сопровождалось интенсивной турмалинизацией вмещающих пород. Возраст этих гранитов, определенный по Sr/Rb отношению, равняется 1260 млн лет.

Как установлено на месторождении Сулливан, турмалинизация вмещающих оруднение пород предшествовала собственно рудному процессу, а формирование рудной залежи Сулливан, судя по изотопному составу свинца, происходило не раньше чем 1250 млн лет назад. Вместе с тем на месторождении установлены дайки лампрофиров, секущие главную массу рудной минерализации, но содержащие вкрапленность пирита и пирротина. Возраст этих даек считается близким к возрасту оруденения и, согласно К-Аг определениям, отвечает 765 млн лет. Наряду с перечисленными докембрийскими интрузивными образованиями в районе известны гранитные интрузивы с возрастом (по К-Аг определениям) 80 млн лет. Из сказанного можно заключить, что в позднем докембрии свинцовое оруденение проявлялось по крайней мере дважды: в связи с силлами кварцевого габбро (возраст 1100—1500 млн лет) и близко по времени к внедрению лампрофировых даек (765 млн лет), когда формировалась основная масса продуктивного оруденения рудного района. Еще более длительным был здесь и прерывистый магматический процесс, завершившийся в верхнемеловое время внедрением гранитов.

В этой связи интересно также отметить, что, согласно Г. Личу и Л. Уонлессу [68], второе по масштабам после Сулливана полиметаллическое месторождение района — Сэнт-Эужен — по своему структурному положению, скорее всего, может быть отнесено к верхне-

меловым образованиям. Вместе с тем изотопный состав его свинца не отличается от состава докембрийского свинца Сулливана, и это заставляет упомянутых авторов высказать предположение, что оруденение Сент-Эужен образовалось в результате переотложения в меловое время докембрийской сульфидной залежи без дополнительного приноса радиогенного свинца.

Изучение изотопного состава свинцов из различных рудных объектов привело упомянутых выше авторов к не менее интересному заключению о том, что свинец из прожилок, генетически связанных с ранними габброидами, и свинец главной сульфидной залежи Сулливана идентичны. Интерпретируя эти данные, авторы заключают, что габброиды и рудные элементы главной залежи имели единый глубинный источник, однако полностью исключают возможность прямой связи между силлами и уникальной по масштабу минерализацией месторождения Сулливан. В формировании оруденения района Сулливан также отмечена определенная стадийность, выраженная в том, что часть галенита кристаллизуется позднее прочих сульфидов, образуя в них прожилки, а вся залежь месторождения Сулливан пересечена меридиональной жилой, содержащей наряду с сульфидами касситерит. Спектр рудных элементов на месторождении включает, помимо свинца и цинка, серебро, сурьму, кадмий, висмут, олово, медь, железо и индий.

Из сравнения двух приведенных примеров крупных свинцово-цинковых рудных узлов можно вывести следующие общие закономерности взаимоотношений магматического и рудного процессов в пределах рассмотренных рудных районов.

1. Оба района приурочены к глубинной широтной структуре, заложенной еще в докембрии, а в ее пределах — к узлам интенсивной тектонической нарушенности.

2. Магматический процесс в их пределах возобновлялся в течение сотен миллионов лет, и гидротермальный процесс был также длительным во времени, возникая повторно на протяжении свыше 100 млн лет. При этом наиболее ранними магматическими проявлениями в обоих случаях были внедрения магм основного ультраосновного состава, сменявшиеся с течением времени внедрением безрудных гранитоидов.

3. Основному рудному процессу в обоих случаях предшествовала турмалинизация всех более ранних образований. Одновременно (или с некоторым опережением) происходило внедрение даек основного состава. Существенным отличием является отсутствие в рудном поле Сулливана тесно связанных с рудным процессом внедрений кислых, богатых летучими магм, характерных для Дарасуна.

4. Общей особенностью рудных процессов является их многостадийность и большое разнообразие рудных элементов в числе которых присутствуют и контрастные по своим геохимическим тенденциям (Sn, Ni и Co на Дарасуне, Sn и Cu в Сулливане).

Все сказанное позволяет говорить о глубинных очагах, неоднократно оживлявшихся на протяжении длительных отрезков геологического времени. Начальные этапы подобного оживления знаменовались появлением базальтоидных расплавов, за которыми следовали

потоки эндогенных эманаций. В составе последних первоначально преобладал бор, а затем в течение длительного времени происходил вынос в земную кору рудных элементов и, возможно, их переотложение. При этом особенно важно отметить, что глубинные эманации наряду с феофильными приносили и литофильные элементы. Свидетельством этому, в частности, являются многочисленные факты присутствия олова в сульфидах месторождений Канадского щита, приуроченных к его древнейшим фемическим поясам. Среди них, согласно Р. Муллигану (1975 г.), на месторождении Опемиск вмещающими породами сульфидных оловосодержащих жил являются породы расслоенного силла ультраосновного—основного состава, а в Южной провинции щита на месторождении Вермилион в арсениде платины установлено 4,6% олова. Наконец, наиболее значительные месторождения олова Приморского края образовались в тесной временной и пространственной связи с дайками основных пород.

Во всех приведенных здесь примерах граниты, формировавшиеся в ходе развития магматизма узлов длительной эндогенной активности, если даже и являлись источником некоторых рудопроявлений, (например, кварц-молибденитовые прожилки, связанные с позднепалеозойскими гранитами Дарасунского рудного поля), то такие рудопроявления по своим размерам не шли ни в какое сравнение с основными рудными объектами.

Таким образом, мы снова приходим к выводу, что граниты в рудных полях крупных месторождений в большинстве случаев не являются главным источником рудного вещества, а всего лишь одной из составляющих гетерогенных магматических комплексов, свойственных узлам длительной эндогенной активности, на площади которых процессы магматизма и рудообразования тесно связаны с дегазацией мантии.

Вместе с тем есть и такие месторождения, где продуктивная рудная минерализация проявляется дважды на протяжении длительного отрезка геологического времени. В качестве примера можно привести золоторудное месторождение Хомстейк в США, на котором представлено оруденение двух наиболее важных эпох золотого рудообразования — докембрийской и мезозойско-кайнозойской. Докембрий в пределах рудного узла представлен наряду с метаморфизованными осадочными породами силлами наиболее ранних изверженных пород — габбро-амфиболитов. Господствующий структурный план докембрийского основания меридиональный, но отмечается и наложенная поперечная складчатость. Третичные интрузии представлены штоками порфириовидных пород монцонитового и фонолитового составов и поздними дайками риолитов вплоть до четвертичных обсидианов. Отдельные рудные объекты расположены в виде широтных цепочек. Наряду с преобладающим заведомо докембрийским золотом встречено в трещинах, секущих третичные риолиты.

Из приведенных примеров можно заключить, что не только длительность развития эндогенных процессов в пределах описываемых узлов достигает десятков и нередко сотен миллионов лет, но почти столь же длительны и некоторые интервалы между импульсами эн-

догенной активности. В отдельных случаях эта последняя, возникнув в докембрии или раннем палеозое, возобновляется только в мезозое или кайнозое.

Между тем все сказанное не исключает в отдельных случаях и других, более простых взаимоотношений между магматизмом и оруденением. Имеется в виду минерализация, сопровождающая поздние дифференциаты многофазных гранитных комплексов. Однако и в этих случаях интервалы между фазами измеряются нередко десятками миллионов лет, а внедрение гранитных магм перемежается с внедрением даек базальтов.

Приведенные описания узлов длительной эндогенной активности позволяют по-новому подойти к вопросу о различиях между гранитами рудоносными, т.е. сопровождающимися продуктивной рудной минерализацией, и нерудоносными, за которыми подобная минерализация не следует. Как неоднократно отмечалось и ранее, рудоносные граниты обычно особенно богаты летучими компонентами, нередко характеризуются повышенной калиевой щелочностью и обладают высокой реакционной способностью. Однако наибольший интерес при прогнозных исследованиях представляют те из них, которые являются звеном длительно и дискретно развивавшегося магматического процесса.

Объяснение всему изложенному следует, по-видимому, искать в существовании глубинных очагов повышенной эндогенной активности, периодически возбуждающихся с выделением тепла и эманаций. Судя по тому, что наиболее ранними продуктами подобной активности были магмы ультраосновного состава, упомянутые очаги располагаются в пределах мантии. Возможно, что ранние и значительные по масштабам массивы гранитов образуются в результате выплавления коровых магм под воздействием тепла при незначительном участии глубинных флюидов. Последние тем не менее являются виновниками того, что эти ранние, не сопровождающиеся существенным оруденением граниты нередко отличаются известной рудной специализацией. В дальнейшем роль глубинных флюидов увеличивается, и на заключительных этапах процесса возникают расплавы повышенной реакционной способности, нередко контаминированные и обуславливающие вспышки взрывной деятельности. Поскольку процесс образования узлов длительной эндогенной активности на всем протяжении сопровождается внедрением даек основного состава, а в отдельных случаях и завершается ими, глубинный источник поставлял до самого конца процесса не только эманации, но и основные магмы. Эта особенность формирования узлов длительной эндогенной активности носит принципиальный характер, так как весь комплекс перечисленных магматических проявлений не укладывается в схему последовательной дифференциации единого очага гранитной магмы, а свидетельствует о повторном приоткрытии глубин, поставляющих базальтовые расплавы и о значительном отрыве во времени поздних кислых дифференциатов от формирования главных очагов гранитной магмы.

Судя по тому, что, согласно приведенным примерам, состав ведущих элементов рудопроявлений меняется от более древних гранитов

к более молодым (например, более ранняя молибден-вольфрамовая минерализация и позднейшая оловорудная), состав глубинных флюидов с течением времени эволюционирует.

Следует отметить, что близкая к изложенной точка зрения на взаимоотношение оруденения с интрузиями была еще в начале семидесятых годов высказана профессором Дж. Ноблем [68]. Согласно этому автор, рудные эманации имеют мантийный источник, а поступление их к поверхности связано с генерирующим магму локальным плавлением. При этом подчеркивается, что сами по себе эти расплавы не являются источниками оруденения.

В связи со сказанным интересно также напомнить известную статью В.В. Аверьева [1], в которой автор привлекает данные по тепловой мощности гидротермальных систем вулканических областей и длительности их активности для расчетов возможных источников перегретого пара. В результате он приходит к выводу, что основное противоречие гипотезы постмагматического происхождения гидротерм заключается в том, что они могли бы существовать только десятки и первые сотни лет, как это и имеет место на действующих вулканах. В отношении гидротермальных систем, существующих миллионы лет, значение этого механизма нельзя признать сколько-нибудь существенным. Таким образом, выдвигается предположение, что образование термоаномалий, сопутствующих рассматриваемым гидротермам, обусловлено восходящим потоком горячего флюида, генерация которого в общем случае не связана с магматическими телами, а является следствием самостоятельного глубинного процесса. Роль магматических тел ограничивается ролью флюидопроводников. Далее произведенные расчеты приводят В.В. Аверьева к заключению, что в пределах упомянутых термоаномалий на глубине 5,5—10 км при благоприятной обводненности создаются условия для расплавления отдельных участков гранитного слоя. Горячий водный флюид рассматривается как главный агент особой формы вулканизма, в рамках которого взрывные явления, экструзии и гидротермальная деятельность предстают как ассоциации различных проявлений одного процесса.

## НЕОДНОРОДНОСТЬ МАНТИИ КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА МАГМО- И РУДНОФОРМАЦИОННОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА

За последние годы все большее число исследователей обращается к проблеме неоднородности мантии. Для обоснования подобной неоднородности привлекаются наряду с результатами геофизических исследований термодинамические расчеты, результаты экспериментов и все более многочисленные данные по особенностям распределения в пространстве различных типов глубинных ксенолитов. Исследования этого направления приобретают особое значение на фоне господствующих представлений о мантийном источнике флюидов, формирующих рудные месторождения промышленного масштаба. С этих позиций по новому противостоят друг другу проблемы специализации и концентрации оруденения.

Действительно, если существование локальных специализированных участков в значительной степени объясняется влиянием состава и строения соответствующих структурно-формационных зон или даже глубиной эрозионного среза, то причины существования специализированных рудных провинций, характеризующихся также специфическим профилем магматических образований, требуют иного объяснения. В пределах таких рудных провинций на фоне общей зараженности определенной группой рудных элементов присутствуют и отдельные крупные и уникальные месторождения, причины возникновения которых связаны, как это мы попытались показать в главе IV, с особыми условиями глубинной проницаемости.

Поясним сказанное примерами. На территории Южного Приморья Е.А. Радкевич (1958 г.) и вслед за ней рядом других исследователей выделяются оловорудная и свинцово-цинковая металлогенические зоны. Эти зоны приурочены к различным структурам земной коры: оловорудная — к так называемому Главному синклинию Сихотэ-Алиня, а свинцово-цинковая — к Прибрежному антиклинорию. На формирование металлогенических зон повлияли и соответствующие литологические особенности, так, в частности, свинцово-цинковые месторождения, принадлежащие к скарновой формации, приурочены к выходам известняков.

Вместе с тем есть основания считать, что рудообразующие флюиды были в обоих случаях единообразны. В пользу этого говорит близость магматических проявлений, сопровождающих оруденение обоих типов. Действительно, как на большинстве месторождений Кавалеровского оловорудного узла, так и на месторождениях Дальнегорского свинцово-цинкового продуктивное оруденение тесно связано в пространстве и во времени с сериями даек повышенной основности. В то же время как для тех, так и для других месторождений характерно присутствие нескрытых на поверхности гранитных массивов, оторванных по времени образования от продуктивной минерализации. Таким образом, в этом случае нет основания говорить о связи метал-

логенической зональности со сменой определенных магматических формаций. Кроме того, как показывают имеющиеся данные по результатам бурения на свинцово-цинковом Николаевском месторождении, на глубине около 1000 м от поверхности появляются участки, обогащенные касситеритом. Если при этом принять во внимание, что свинцово-цинковая сульфидная минерализация в той или иной мере сопровождает все оловорудные месторождения района, станет ясно, что в этом случае нет оснований связывать упомянутую металлогеническую зональность с различными источниками оловянного и свинцово-цинкового оруденения.

Однако существуют более крупные, трансрегиональные закономерности, примером которых могут служить выделенные С.С. Смирновым (1946 г.) внешняя и внутренняя зоны Тихоокеанского рудного пояса. Внутренняя, прослеживающаяся вдоль тихоокеанского побережья Северной и Южной Америки, представляет собой грандиозный пояс медных месторождений, продолжением которого на запад служат медные месторождения Японии, Тайваня и Филиппин. Этому внутреннему поясу противопоставляется бедный медью громадный оловянный (олово-вольфрамовый) пояс внешней зоны, охватывающий почти всю восточную окраину Азии и в виде отдельных разрозненных участков намечающийся в Северной и Южной Америке. Наряду с различиями в металлогении С.С. Смирнов указал на преобладающее развитие кислых магматических пород в пределах внешней зоны и основных — в пределах внутренней. Таким образом, в отличие от приведенных выше локальных специализированных металлогенических зон зональность Тихоокеанского рудного пояса связана с кардинальными различиями сопровождающих ее магматических проявлений, в числе которых существенная роль принадлежит базальтовым расплавам, имеющим глубинный источник. Необходимо напомнить, что как сейчас установлено, и на оловянных месторождениях внешней зоны оруденение связано с активизацией очагов основных магм, хотя в целом развитие магматизма, сопровождающего формирование внешней и внутренней зон Тихоокеанского рудного пояса, существенно различно.

Из всего сказанного следуют два важных заключения: 1) источник оруденения в пределах обеих выделенных С.С. Смирновым зон располагается на глубине, во всяком случае, превышающей мощность сиалической коры; 2) специализация трансрегионального типа служит отражением специализации глубинных частей земной коры или, возможно, соответствующей специализации верхней мантии. Следует, конечно, иметь в виду, что сделанные С.С. Смирновым обобщения, как это отмечал и он сам, являлись грубой суммарной характеристикой всего мезокайнозойского цикла Тихоокеанского рудного пояса. Дальнейшие исследования показали значительно более сложные взаимоотношения магматизма и металлогении на отдельных его участках. Однако упомянутые наиболее общие закономерности не потеряли при этом своего значения.

На основе всего сказанного следует вернуться к вопросу об условиях концентрации оруденения, в силу которых в пределах специали-

зированных зон возникают крупные и уникальные по масштабу рудные объекты соответствующего профиля. Как это показано в предыдущей главе, размещение подобных объектов контролируется сквозными рудоконцентрирующими системами нарушений, глубина заложения которых превосходит мощность земной коры. В узлах, приуроченных к этим структурам, эндогенные процессы развиваются длительно, периодически возобновляясь на протяжении десятков или сотен миллионов лет. Как было отмечено, металлогенический профиль соответствующего рудного месторождения отвечает, как правило, той специализированной зоне, которую рудоконцентрирующая структура на данном участке пересекает. Описанные выше особенности упомянутых структур и узлов длительной эндогенной активности позволяют предполагать, что в концентрации рудного вещества ведущую роль играют минерализаторы, такие, как бор, фтор, возможно, водород и углеводороды и некоторые другие элементы. Логическим заключением является предположение, что эти элементы проникают из глубин, превосходящих те, на которых расположены специализированные на определенные металлы глубинные оболочки Земли. Все сказанное делает возможным поставить вопрос о том, что причиной рассмотренных выше различий процессов специализации и концентрации оруденения является геохимическая неоднородность глубинных оболочек Земли, зависящая от условий ее формирования как планеты и последующей дифференциации ее вещества.

В связи с этим мы попытаемся коснуться некоторых существующих представлений о характере подобной неоднородности и ее влиянии на эндогенные процессы, с тем чтобы подойти к гипотетическому истолкованию причин тех особенностей магматизма и рудообразования, которые, с одной стороны, определяют специализацию оруденения, с другой — сопровождают формирование крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых.

Вертикальная неоднородность глубинного строения Земли в наиболее общих чертах может быть иллюстрирована известной схемой А.Е. Рингвуда [33] (рис. 15), на которой ниже границы Мохо последовательно сменяются с глубиной: слой пониженных скоростей, переходная зона, нижняя мантия, внешнее и внутреннее ядро. Переходная зона между верхней и нижней мантиями выделяется некоторыми исследователями под названием "слой Голицына" и Б. Гуттенбергом под названием "средняя мантия".

Эта, наиболее общепринятая схема, построенная в основном на геофизических данных, получила в дальнейшем от различных исследователей неодинаковое истолкование и была значительно усложнена. В частности, нет общепринятого мнения по вопросу о том, является ли изменение плотности на границах разных зон только результатом фазовых переходов или в них участвуют химические изменения.

Проблема возникновения и эволюции Земли по-разному решается сторонниками гомогенной или гетерогенной аккреции как ведущего процесса при аккумуляции протопланетного облака. Как известно, гипотеза гомогенной аккреции предполагает наличие подобного об-

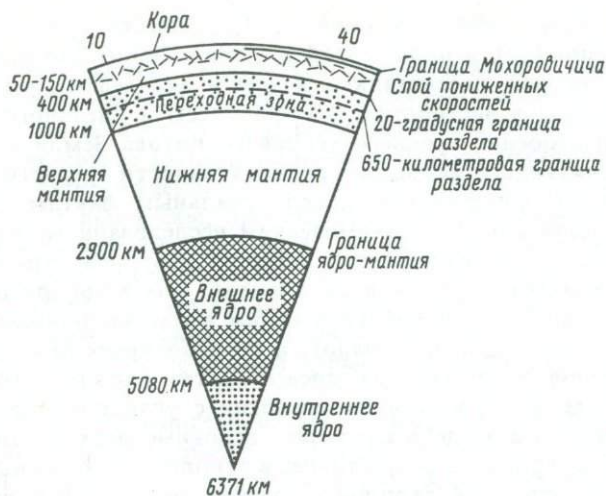


Рис. 15. Принципиальная схема подразделения Земли на слои (по А.Е. Рингвуду)

лака однородного в химическом и физическом отношении и, следовательно, первичную гомогенность планет. Отсюда следует, что Земля приобрела зональное строение лишь в ходе дальнейшей, уже геологической эволюции. Стронником гомогенной аккреции возникновения и формирования Земли является А.Е. Рингвуд.

Гипотеза гетерогенной аккреции заключается в представлении о том, что геосферы формировались в ходе образования Земли. В основу этой гипотезы наряду с геофизическими данными привлечены результаты экспериментов и особенности вещественного и изотопного состава метеоритов различных классов. Стронниками такого типа аккреции являются Э.В. Саботович (1967 г.), Д.Л. Андерсон (1972 г.), А.П. Виноградов (1974 г.) и др.

Существуют также разногласия в отношении первичного состава вещества протопланетного облака, из которого образовалась Земля. В основу этих суждений положено представление о сходстве этого вещества с веществом известных метеоритов, хотя некоторые исследователи (В.А. Рудник, Э.В. Саботович) [36] считают, что поскольку пути эволюции земного и метеоритного вещества разошлись 4,5 млрд лет назад, остается неясным сходно ли первоначальное вещество Земли с тем, которое попадает к нам сейчас из пояса астероидов. Существует мнение, что железные метеориты отвечают по составу ядру Земли, а каменные — мантии и коре. В свою очередь, как известно, каменные метеориты делятся на хондриты, близкие к земным ультраосновным породам, и ахондриты, близкие к базальтам и значительно более редкие. В соответствии с этим состав мантии (и Земли в целом) рассматривается или на основе хондритовой или ахондритовой моделей.

По хондритовой модели силикатная часть хондрита сохранилась почти без изменений в нижней мантии, а кора и ядро Земли являются

ся результатом дифференциации этого вещества. Как указывает Н.Л. Добрецов [14], в пользу этой модели говорит совпадение физических параметров, рассчитанных из нее и определенных геофизическими методами, в частности с учетом массы и удельного веса ядра и мантии и особенно среднего теплового потока Земли и теплового потока, рассчитанного исходя из радиоактивности среднего хондрита. Несоответствие хондритовой модели реальным фактам выяснилось благодаря более тонким геохимическим исследованиям, в результате которых были установлены соотношения изотопов стронция более близкие к земным породам в ахондритах, чем в хондритах, несоответствие  $K/U$  и  $U/Pb$  отношений, которые в земных породах и хондритах отличаются почти на порядок, и по некоторым другим данным. Н.Л. Добрецов указывает на преимущества ахондритовой модели А.Е. Рингвуда, построенной на аналогии с углистыми ахондритами второго типа. Эта модель сохраняет основные достоинства хондритовой модели, кроме того, она точнее в отношении изотопных данных. Из числа особенностей ахондритов углеродистого типа, на которые указывает Н.Л. Добрецов, особенно интересно, как будет видно из дальнейшего, присутствие большого количества льдов и углеродистого материала, включая сложные органические соединения. Последние, как предполагается, могли образоваться из смеси газов  $CO + H_2$ , реагирующих при участии катализаторов.

Возвращаясь к вопросу о глубинных причинах специализации и концентрации эндогенных рудных веществ в земной коре, остановимся на следующих трех главных его сторонах.

1. Есть ли достаточно убедительные данные для заключения о том, что источники, определяющие, с одной стороны, специализацию, а с другой — концентрацию рудного вещества, находятся на разной глубине?

2. Каков возможный механизм движения флюидов из глубин Земли к ее поверхности и какова роль глубинных ослабленных зон не только в верхней, но и в нижней мантии?

3. Что можно сказать о составе разноглубинных флюидов, часть которых участвует в рассеянном выносе рудных веществ, а часть — в его концентрации?

Рассмотрим вначале представления различных исследователей о связи процессов, протекающих в нижней и верхней мантии и влиянии этих процессов на земную кору. Здесь следует оговориться, что для автора данной монографии существование подобной связи не вызывает сомнения даже из самых общих соображений, так же как и влияние всех этих взаимосвязанных процессов на магмо- и рудообразование и их проявление в земной коре.

Подобная точка зрения была сформулирована нами еще в 1968 г. в коллективной монографии. "На современном уровне наших знаний мы уже вплотную подошли к возможности конкретной оценки особенностей проявлений на земной поверхности процессов, имеющих разноглубинные источники. Сочетание и интерференция глубинной активности Земли с влияниями, непосредственно обусловленными особенностями развития ее коры, все чаще привлекают внимание исследо-

вателей и приводят к необходимости пересмотра некоторых устоявшихся концепций" [51. С. 252].

Все это не позволяет согласиться с высказыванием А.Д. Щеглова и И.Н. Говорова, согласно которому "структуры земной коры не оказывают существенного влияния на размещение месторождений" и далее: "Эти и многие другие группы эндогенных рудных месторождений обязаны своим происхождением не развитию верхних оболочек Земли — земной коре, а процессам, протекавшим на значительных глубинах, в мантийных частях планеты" [62, С. 17, 18]. В соответствии с тем, что было изложено в начале главы, есть, например, основание заключить, что появление более локальных металлогенических зон, определяющих местами профиль оруденения, несомненно, в значительной мере зависит от структур земной коры, хотя источник этого оруденения более глубинный.

Сторонники как гомогенной, так и гетерогенной аккреции большое значение придают процессам дифференциации, происходящим на всех уровнях и на всех этапах истории Земли. Результатом этих процессов является большая или меньшая неоднородность состава как верхней, так и средней и нижней мантии. Оценка степени этой неоднородности у различных исследователей неодинакова. Так, А.Е. Рингвуд [33] считает, что данных о существенной радиальной химической зональности в мантии, например, данных о значительном увеличении отношения  $FeO/MgO$ , не имеется и изменения скоростей прохождения сейсмических волн на границе верхней и нижней мантии объясняются в основном фазовыми переходами. Согласно А.Е. Рингвуду, имеющиеся наблюдения свидетельствуют о большой степени первичной химической однородности всей мантии, особенно на ранней стадии ее эволюции, до того, как стали преобладать процессы мелкомасштабной дифференциации. Последние привели к известной химической неоднородности локального масштаба, в первую очередь в составе пиrolита верхней мантии. При этом имеются признаки, указывающие на то, что для главных элементов и для совместимых микроэлементов диапазон колебаний в их содержании достаточно узок, но может быть очень большим для некоторых несовместимых микроэлементов.

С позиции А.Е. Рингвуда, при формировании Земли постепенная дифференциация мантийного пиrolита является эволюционным процессом, вследствие чего степень неоднородности мантии в ранний период истории Земли была сравнительно небольшой. В дальнейшем процессы дифференциации существенно затронули несовместимые элементы. Проведенное А.Е. Рингвудом сравнение первичной распространенности элементов в пиrolите с их распространенностью в углистом хондрите показали, что содержание многих элементов более летучих, чем магний, ниже в мантии в различное число раз. Степень обеднения в целом растет с увеличением летучести в ряду: Si, Cr, Mn, Na, K, As, Ca, Rb, и F. Обеднение Земли рядом элементов рассматривается А.Е. Рингвудом как следствие избирательного улечения. Этот процесс по своей природе является, по-видимому, общей формой того, который принято называть процессом дегазации мантии.

Для наших целей важно отметить, что, согласно представлениям А.Е. Рингвуда, повышенная химическая неоднородность пиrolита верхней мантии тесно связана с эволюцией мантийного вещества в целом и с изменением содержания несовместимых элементов в более глубоких участках мантии, в частности.

Процессы взаимодействия нижней и верхней мантии рассматриваются и в концепциях ряда других исследователей. Так, Е.В. Артюшков (1983 г.) развивает представления о дифференциации по плотности вещества нижней мантии на ее границе с ядром. Разделение происходит на тяжелое вещество ядра и более легкий остаток, который всплывает в верхнюю мантию по каналам в нижней мантии, нагреваясь за счет потенциальной энергии. В верхней мантии происходит дополнительная дифференциация легкого материала. Его наиболее легкие компоненты всплывают к коре или подошве литосферы в виде сильно нагретой аномальной мантии. Для вопроса, поставленного в начале этой главы о возможных разноглубинных источниках, ответственных за специализацию и концентрацию оруденения, эти построения интересны тем, что в соответствии с ними можно представить себе проникновение концентрирующих флюидов из нижней мантии и их мобилизующую роль в металлогенически специализированной верхней мантии.

В более общей форме процессы дифференциации вещества Земли рассматриваются А.А. Савельевым (1983 г.). Наблюдаемый ход геологических событий по его представлениям отражает фундаментальную черту термодинамической эволюции вещества Земли: дифференциацию его на всех радиальных уровнях и вынос к свободной поверхности планеты избыточной энергии. Конечным итогом этой эволюции является кора континентального типа. Периодическое накопление энергетически неустойчивых масс в ходе дифференциации должно завершаться их радиальным перемещением и латеральным растеканием вблизи энергетически предельного уровня. Неустойчивость масс, порожденная в нижней мантии, способна вызывать движения в областях со значительной радиальной и латеральной протяженностью, а также с длительностью, характерной для тектонических эпох, или большей. В отличие от этого энергоактивные очаги в верхней мантии, согласно А.А. Савельеву, способны оказывать меньшее структурообразующее воздействие на коровую оболочку. В нарушениях полной синхронности и в неоднородной интенсивности тектонической активности разноудаленных районов отражена разномасштабность и различная глубина размещения верхнемантийных очагов и их заметное различие по мощности. Эти выводы А.А. Савельева в свете представлений, изложенных в главе IV данной монографии, особенно интересны тем, что позволяют связывать эндогенную активность длительно живущих трансрегиональных сквозных систем нарушений с процессами, возникающими в нижней мантии.

Здесь обращает на себя внимание совпадение последних выводов А.А. Савельева с цитированными положениями коллективной монографии [51], согласно которым предполагается влияние разноглубинной и разномасштабной активности на проявление эндогенных процессов на земной поверхности.

В этом отношении интересны также данные Ф.А. Летникова [13], осуществившего попытку оценить процесс дегазации Земли во временном аспекте на основе анализа 20 000 флюидных включений в горных породах различного возраста. В результате им было установлено, что по мере старения Земли нарастала роль окисленных флюидов с преобладающим влиянием воды. Ф.А. Летников заключает, что вся история развития Земли как космического тела характеризовалась отступлением вглубь мантии фронта восстановленных флюидов. В фанерозе, в период существования мощной коры, состав флюидов становится корово-мантийным. В то же время ранние этапы развития Земли характеризовались интенсивным выносом из недр углерода, что напоминает современное состояние планеты Венера. В целом истощение верхней мантии по углероду и отступление "углеродного фронта" совпадали с уровнем отступления фронта восстановленных флюидов и с уровнем истощения верхней мантии по щелочным и некогерентным элементам. Из всего этого нам представляется логичным вывод, что в фанерозе некоторые некогерентные элементы могли в основном поступать из средней и нижней мантии. Кроме того, разноглубинный источник некоторых элементов подтверждается экспериментальным материалом И.Д. Рябчикова, согласно которому натрий должен фиксироваться в самых верхах мантии, а калий — на больших глубинах. В целом же с увеличением глубины происходит рост щелочности мантийных флюидов.

Изучение изменения состава мантии за период в 3,5 млрд лет было произведено также С. Сёном [69] на основании рассмотрения данных по образцам ультраосновных нодулей мантийных пород различного возраста. В результате он пришел к выводу, что количество когерентных (Al, Ca, Si, Mg, Fe) и относительно когерентных (Ti, Zr, тяжелые и средние редкие земли) элементов в источниках базальтовых магм существенно не изменились с раннего архея. Сильно некогерентные летучие компоненты (K, Rb, Cs, Tl и т. п.) убывают из мантии на протяжении геологического времени. Исследования, проведенные С. Сеном, позволили сделать заключение, что содержание железа, никеля и кобальта отличается слабой дисперсией, причем заметных вариаций за 3,5 млрд лет не наблюдается. Подобный же эффект характерен для некоторых других сидерофилов и для благородных металлов. Эти выводы подкрепляют высказанное Дж. Ноблем предположение, что металлогеническая специализация глубинных оболочек Земли могла возникнуть еще в процессе ее формирования.

Из сказанного следует также, что источником рудных и других когерентных элементов в рудообразующем процессе вплоть до настоящего времени могут являться верхние оболочки Земли, включая верхнюю мантию.

Природа неоднородности нижней мантии заключается в изменении ее плотности, которая, по данным ряда геофизиков, увеличивается с глубиной. Изменение плотности нижней мантии на границе с ядром интерпретируется как область разуплотнения вещества. Участки разуплотненной нижней мантии теоретически могут быть источниками вещества и энергии, поступающих в более высокорасположенные зоны.

Вместе с тем не исключена возможность, что, как специализированные подкорковые зоны, так и те, которые являются источником концентрирующих флюидов, располагаются в пределах верхней мантии. Ряд исследователей приходит к выводу, что проводящие, частично расплавленные слои могут располагаться поэтажно в пределах верхней мантии. Так, Н.И. Хитаров в своей работе, посвященной физико-химическим особенностям глубинных процессов (1976 г.), приводит данные по магнитотеллурическому зондированию на Воронежском массиве, согласно которым на этом участке устанавливается наличие в верхней мантии двух проводящих слоев на глубинах 100—120 и 250—300 км. Так как в основном проводящие свойства на этих уровнях приписываются наличию зоны разогрева с проявлениями или частичного, или даже полного плавления, то локальный разогрев может быть обязан или местным, локальным концентрациям радиоактивных источников, или питанию верхнего слоя тепловыми поступлениями из нижнего слоя астеносферы раплавом или нагретыми флюидами.

Н.И. Хитаров предполагает, что господствующим механизмом теплопередачи между поэтажно расположенными слоями является тепломассоперенос, осуществляемый с помощью вертикальных проводников. При этом верхний этаж может питаться за счет возможных подвижных компонентов вещества (газы, расплав) нижнего слоя, а тот, в свою очередь, за счет газовых теплоносителей, расположенных еще ниже. При этом в составе газов автор на первое место выдвигает водород. В качестве доказательства важной роли его участия в глубинных процессах Н.И. Хитаров указывает на усиление восстановительных условий с глубиной, о чем свидетельствует изменение соотношения между двумя формами железа. Прямым подтверждением присутствия водорода в глубинных зонах Земли является его нахождение в газовых включениях в алмазах. Увеличивает вероятность поступления водорода из мантийных глубин также и его сопряженность в вулканических процессах с поступлением гелия, изотопный состав которого свидетельствует о его мантийной природе.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что и в концепции Н.И. Хитарова основные положения заключают представление о потоке флюидов (и, в частности, водорода) из глубин, превышающих область верхнего астеносферного слоя, даже в тех случаях, когда мы имеем дело с присутствием в составе мантии двух астеносферных слоев. Подобная расслоенность верхней мантии рассматривается как следствие процессов дифференциации.

К заключению о значительной дифференцированности вещества в интервале глубин 70—200 км, т.е. в пределах верхней мантии, пришел также Н.В. Соболев (1974, 1977 гг.) на основании многолетнего изучения ксенолитов в кимберлитовых трубках Сибири и минеральных включений в алмазах.

Таким образом, на первый из поставленных вопросов о том, можно ли считать, что источники, определяющие, с одной стороны, специализацию, а с другой — концентрацию рудного вещества, находятся на различной глубине, следует ответить положительно.

Переходя к вопросу о возможном механизме движения флюидов из

глубин Земли к ее поверхности, остановимся вначале на существующих представлениях о дифференциации мантийного вещества. Так, Н.Л. Добрецов [14] предполагает радиальное перемещение расплавов под влиянием гравитационных сил. Это перемещение может происходить как вверх, так и к центру Земли, о чем свидетельствует наличие астеносферы и жидких лав на поверхности Земли, с одной стороны, и жидкого внешнего ядра — с другой. Расплав будет иметь сложный состав и находиться в равновесии с твердыми фазами и летучими (растворенными в расплаве или в виде отдельной фазы), относящимися преимущественно к системе  $H-O-C-S$ . В верхней зоне при понижении  $T, P$  и повышенном окислительном потенциале расплав обеднен железом и обогащен легкими компонентами ( $Al, Si, Na, K$  + растворенные летучие компоненты). Расплавы разного состава в соответствии с температурой и плотностью формируются на разных глубинах, что может приводить к полиастеносферному строению верхней мантии. Нижняя граница последней располагается глубже астеносферных слоев. Н.Л. Добрецов считает, что в средней мантии теоретически могут появляться два расплава — тяжелый и легкий. В нижней зоне, охватывающей большую часть нижней мантии, температура расплава ниже, а плотность выше, чем средние параметры мантии, так что образующийся расплав просачивается вниз.

В пользу участия в составе земной коры вещества нижней мантии говорят, по мнению Н.Л. Добрецова, такое соображение: для того чтобы некогерентные элементы ( $K, Rb, V, Th$  и др.) могли сконцентрироваться в земной коре в существующем количестве, недостаточно участия слоя в 200—300 км, а необходима область до глубины 1000 км.

Вместе с тем возникает вопрос: возможно ли проникновение подобных флюидов через толщи, достигающие многих сотен километров и каков механизм этого процесса? Как было отмечено в главе III, В.С. Коржинский и сторонники его гипотезы трансмагматических флюидов полагают, что их миграция происходит по столбу магматического расплава. Не отрицая возможной существенной роли подобного процесса, отметим, что для глубин, отвечающих нижней мантии, большого внимания заслуживают взгляды Г.П. Горшкова и И.А. Островского [8], которые указывают на то, что ничтожно малая скорость передвижения вещества в мантии ниже астеносферного слоя резко повышается на границах мантийных блоков с неоднородным составом и противоположными знаками движения. При этом возникают сравнительно узкие, крутопадающие зоны повышенной мобильности вещества, способствующие миграции элементов в вертикальном направлении. Такие границы фиксируют очаги землетрясений до глубины 700 км и облегчают процесс миграции флюидов. Наряду с основанными на расчетах заключениями этих авторов имеются и прямые данные о субвертикальном положении границ мантийных блоков. Такие результаты были, например, опубликованы в 1972 г. П.К. Булиным при анализе сейсмических данных по территории Памира. На существование активных зон в мантии Земли, по которым всплывают астенолиты и наблюдается резкое возрастание теплопотока, указывает Н.Л. Добрецов. Выше было также отмечено, что Е.В. Ар-

тешков придает каналам в нижней мантии определяющее значение как путям проникновения легких дифференциатов последней в пределы верхней мантии.

На существование распространяющихся в глубины мантии обширных граничных зон крупнейших неоднородностей ее термического состояния обращает внимание И.Г. Клушин (1984 г.). Он также указывает на то, что неоднородность создает благоприятные условия для проникания мантии восходящими потоками вещества. В тесной связи с формированием термических и плотностных неоднородностей в пределах верхней мантии (ближайшего к поверхности Земли 700-километрового слоя) происходит, согласно И.Г. Клушину, обособление и концентрация рудных флюидов.

Опираясь на эти положения, можно с известной долей условности предположить существование не только вертикальной неоднородности в нижней и верхней мантии, но и существование в их пределах разнородных участков, разделенных близвертикальными ослабленными зонами. Влияние таких зон, расположенных в нижней мантии, должно тогда проявиться и в верхней мантии и соответственно в коре. Факты, подтверждающие подобные соображения, в настоящее время единичны. Так, в частности, Я. Кутина [66], используя новейшие геофизические данные по району Аппалачей, установил, что линеамент  $40-41^\circ$  с.ш., контролирующий положение некоторых крупных рудных месторождений на территории США, представляет собой границу различных по составу блоков верхней мантии. Неоднородность последней в латеральном плане была также подтверждена путем обобщения имеющихся к настоящему времени данных по распространению мантийных ксенолитов.

Н.Л. Добрецовым составлена карта типов верхней мантии на территории СССР и сопредельных стран. На карте бросается в глаза значительное количество широтных и меридиональных границ между участками верхней мантии различного состава, обозначенных как границы тектонических зон (рис. 16). Некоторые сквозные системы нарушений пересекают подобные границы, другие на известных участках с ними совпадают. Среди последних линеамент  $100^\circ$  в.д. (см. рис. 13) был описан нами в качестве рудоконцентрирующего. К системе нарушений того же типа есть все основания отнести и линеамент  $40-41^\circ$  с.ш. на территории США, выделенный, как отмечено выше, Я. Кутиной и контролирующий размещение ряда крупных рудных месторождений. Таким образом, можно с известной долей условности утверждать, что рудоконцентрирующие структуры должны рассматриваться как ослабленные зоны более глубокого заложения, чем разнородные участки верхней мантии.

Последние, согласно существующим представлениям, являются источниками различных по составу магматических расплавов, их же есть основание рассматривать как причину существования трансрегиональных специализированных металлогенических зон и провинций.

Исходя из изложенного выше, мы можем прийти к следующим наиболее вероятным выводам.

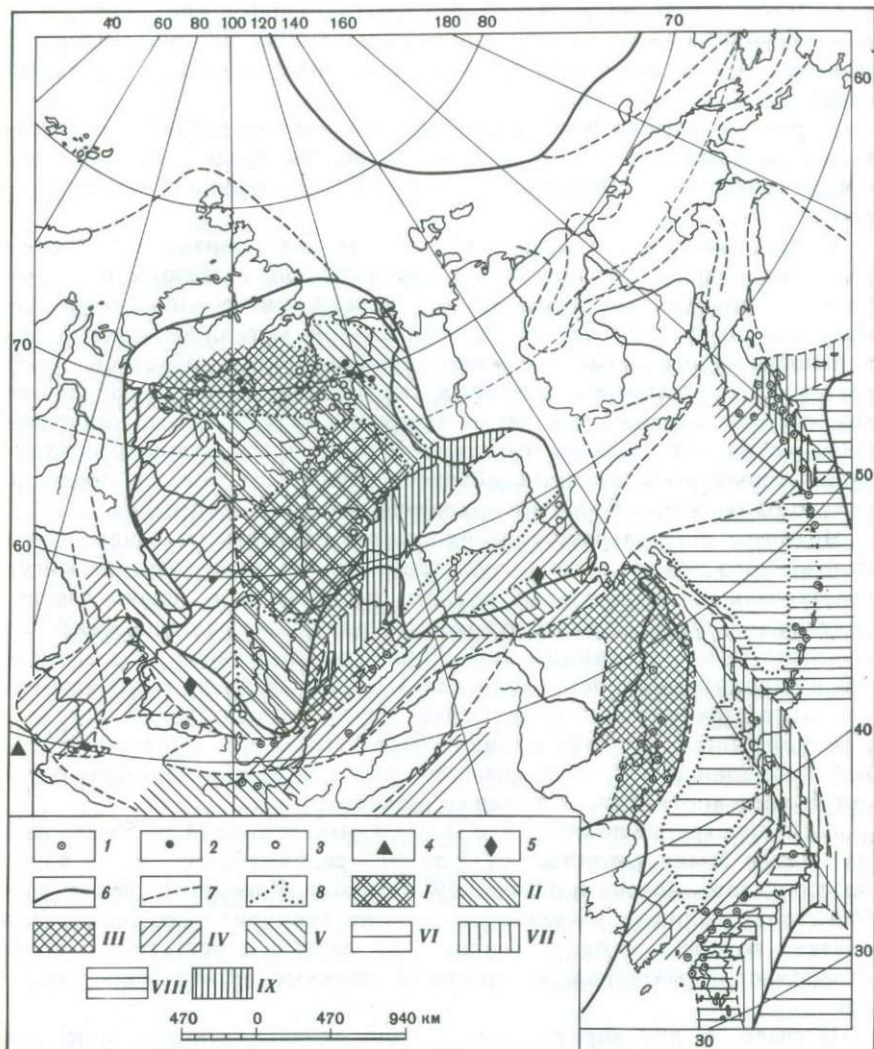


Рис. 16. Типы верхней мантии по данным изучения глубинных ксенолитов (по Н.Л. Добрецову)

1 — ксенолиты в кайнозойских базальтоидах; 2 — в мезозойских базальтоидах и кимберлитах; 3 — то же в палеозойских; 4,5 — находки эклогитов (4) и эклогитоподобных пород (5) в коре; 6 — границы платформ и океанических плит; 7 — границы тектонических зон; 8 — ориентировочные границы разных типов верхней мантии под континентом; I—IX — разные типы верхней мантии: I — пироп-перidotитовый; II — гроссидит-эклогит-перidotитовый; III — шпинель-перidotитовый; IV, V — два подтипа шпинель-перidotитовой мантии по Н.Л. Добрецову; VI — плагиоклаз-лещитовый; VII — анортит-пироксенит-перidotитовый с амфиболом; VIII — верлит-горнблендит-троктолитовый; IX — совместное присутствие шпинель-перidotитовой и анортит-пироксенит-перidotитовой с амфиболом мантии

1. Поступление вещества из одного глубинного уровня Земли в вышележащий (и в том числе из нижней мантии в верхнюю) в процессе дифференциации возможно, и путями его движения служат глубинные ослабленные зоны.

2. Эти зоны разделяют блоки верхней мантии различного состава или пересекают их границы и, возможно, выступают в нижней как ориентированные вертикально зоны еще более глубинных неоднородностей.

3. Есть основание предполагать, что верхняя мантия подразделена на различные по составу блоки, определяющие особенности магматизма и обладающие определенной металлогенической специализацией, лежащей в основе трансрегиональной металлогенической зональности. Размещение наиболее крупных рудных объектов тесно связано с положением отмеченных выше вертикальных ослабленных зон, секущих верхнюю мантию и уходящих за ее пределы, сопровождаемая потоком глубинных эманаций. В то же время рудная специализация упомянутых крупных объектов зависит от того, в пределах какого блока верхней мантии находится источник оруденения.

Наконец, представляется необходимым обсудить на основе всего изложенного вопрос о том, какие элементы или их соединения могут участвовать в мобилизации рудного вещества или, иначе говоря, как можно себе представить рудоконцентрирующие флюиды. Как было отмечено выше, по данным А.Е. Рингвуда, содержание ряда элементов в пиролите ниже, чем в углистом хондрите. К числу таких элементов относятся щелочи, фтор и ряд других относительных летучих. Предполагается, что этот дефицит образуется в результате постепенной дегазации Земли, последовавшей вслед за ее образованием и далее на всем протяжении истории ее развития.

А.П. Виноградов показал, что за указанный период (4,5—5 млрд лет) из мантии Земли удалилось от 5 до 10% содержащихся в ней воды, натрия, хлора, аргона и около 1,5% углерода. Известный свет на состав газов проливает изучение все того же ахондритового вещества, в составе которого наряду с силикатной частью присутствуют лед и углеродистый материал, содержащий сложные органические соединения.

В главе IV при характеристике рудоконцентрирующих линейных структур и узлов длительной эндогенной активности было отмечено, что геохимической особенностью подобных структур служит повышенное содержание в расположенных в их пределах крупных рудных месторождениях тех же элементов, которые, судя по предыдущему, имеют наиболее глубинный источник: бора, фтора и, возможно, углеродородов и ртути, а в сопровождающих их магматитах — повышенные содержания калия, лития и рубидия. Если предположить, таким образом, что именно эти элементы участвуют в концентрации рудного вещества в узлах, контролирующей размещение крупных рудных месторождений, источник их должен располагаться на глубинах, превышающих глубину расположения источников наиболее распространенных рудных элементов.

Большое количество новых данных по составу, происхождению и

условиям миграции мантийных флюидов приведено в сборниках тезисов и статей двух симпозиумов, посвященных проблеме дегазации Земли в связи с геотектоникой, состоявшихся в Москве в 1976, 1985 гг., а также в упомянутом выше журнале [15]. В программном докладе на первом из этих симпозиумов П.Н. Кропоткин [13] указал, что в настоящее время имеются бесспорные данные о глубинном, эндогенном происхождении некоторых газов (гелия, водорода и др.). На глубинный источник водорода указывают также Н.И. Хитаров, В.Н. Ларин и др. Согласно П.Н. Кропоткину, глубинная дегазация связана главным образом с активными тектоническими поясами, которые характеризуются наличием глубинных разломов, высокой сейсмичностью и вулканизмом. Кроме паров воды в составе газов преобладают  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и углеводороды.

Вулканические газы и газы областей, удаленных от проявлений вулканизма, представляют собой смесь в различных пропорциях ювенильных газов и тех компонентов, которые мобилизованы в земной коре или имеют поверхностное происхождение. П.Н. Кропоткин отмечает, что глубинные, ювенильные и главным образом мантийные компоненты флюидов определяют в течение длительного геологического времени перераспределение и перемещение по крайней мере 17 элементов (водорода, гелия, лития, бора, углерода, азота, кислорода, фтора, неона, натрия, серы, хлора, аргона, брома, йода, ртути, радона) из глубинных геосфер к поверхности Земли. Он приводит также аргументы в пользу глубинного происхождения значительной части углеводородов и указывает на обогащенность грязевых брекчий литием, бором и иногда ртутью, что также подтверждает их глубинный источник. Высокие содержания лития известны для термальных вод Паужетки на Камчатке. Для всех перечисленных элементов, за исключением гелия, П.Н. Кропоткин приводит только геологические признаки их глубинности, такие, как аномальновысокие пластовые давления, обусловленные вторжением сжатых газов, и связь с глубинными разломами, указывая на то, что объективный анализ данных по геохимии изотопов не позволяет делать из них, за исключением гелия, какие-либо определенные заключения о глубинности происхождения газа или соединений, возникших в связи с дегазацией Земли.

На втором симпозиуме, состоявшемся в 1985 г., П.Н. Кропоткин [15] в своем докладе подчеркнул, что после первого симпозиума по дегазации Земли и геотектонике появилось много данных, подтверждающих широкое распространение процессов углеводородной с водородом, гелием и азотом, дегазации Земли. Эти данные свидетельствуют о неорганическом происхождении нефти. К числу подобных данных этот исследователь относит также проявления нефти в кристаллическом фундаменте. Так, истечение метана и других углеводородных газов, ранее известное на Балтийском щите (Хибинский и Ловозерский массивы на Кольском полуострове), на рудниках Швеции, Канадском щите (в районе озер Верхнее и Гурон), горючего газа с глубины 400 м от поверхности докембрийского фундамента в Австралии (метановые газы на руднике Кальгурли, водородные с 7%  $\text{CH}_4$

на глубине 260 м на п-ове Йорк) зарегистрировано теперь на выступлениях докембрийского фундамента в Африке и на Сибирской платформе (водород и метан в Непском своде). Масштабы ежегодного поступления метана из рудников Южной Африки (Витватерсранд) оценивается в 500 млн м<sup>3</sup>. Метановые газы вместе с парогидротермами поднимаются из архейского фундамента в рифте оз. Навоши (Кения). В Кольской скважине, пробуренной на глубину 12 км, где в породах фундамента отмечено вместе с метаном и тяжелыми углеводородами повышенное содержание гелия и водорода, роль водорода возрастает с глубиной. Нефть присутствует на некоторых рудниках в Швеции.

П.Н. Кропоткин указывает далее, что убедительным доказательством поступления углеводородов из мантии являются процессы дегазации вблизи таких глубинных разломов, которые пересекают дно океана в местах, где поверхность мантии залегает не глубже 5—8 км от поверхности дна. Ссылаясь на выявленное рядом исследователей интенсивное истечение водорода и метана вместе с гелием и гидротермами на отдельных участках Восточно-Тихоокеанского поднятия. П.Н. Кропоткин [15] отмечает наличие корреляции между содержанием метана и изотопа <sup>3</sup>He. Последний считается первичным, сохранившимся в нижней мантии и в ядре Земли в течение 4,5—5 млрд лет со времени образования протопланетного облака.

Аргументы в пользу эндогенного, глубинного происхождения углеводородов и соответственно горючих газов и нефти прозвучали на обоих симпозиумах в докладах В.Б. Порфирьева, А.И. Кравцова, Г.Н. Долленко с соавторами и многих других.

При обзоре трудов двух упомянутых симпозиумов следует также остановиться на докладе Н.А. Озеровой, касающемся "ртутного дыхания" Земли [12]. В докладе изложена точка зрения автора, согласно которой ртуть выделяется по зонам глубинных разломов в период из активизации, как продукт дегазации глубоких частей Земли. При этом дайки щелочных базальтоидов, нередко сопровождающие ртутные проявления и имеющие близкий возраст, следует рассматривать в качестве хороших индикаторов активизации глубинных разломов, но уровни генерации, с одной стороны, магматических расплавов, реализовавшихся в виде даек, и, с другой стороны, ртути, скорее всего, различны. Для ртути это будут уровни более глубокие, чем очаги базальтоидных магматических расплавов. Н.А. Озерова предполагает, что ртуть участвует в том потоке ювенильных эманаций, которые обеспечивают тепломассоперенос и являются агентами магнообразования.

К вопросу о проникновении ртути из подкорковых глубин Н.А. Озерова обращалась и в более ранних работах (1974, 1978 г.г.). В них подчеркивалось, что глубинный источник ртути подтверждается приуроченностью ее проявлений к узлам пересечения разломов глубокого заложения, и была высказана важная мысль о том, что известные ряды рудных формаций, включающие ртутное оруденение, нельзя рассматривать как порождение общих магматических источников. Появление этих формаций предопределено геологической историей развития региона и приурочено ко времени, когда реализуются, за-

кономерно сочетаясь, различные источники, в том числе и глубинные мантийные. Таким образом, Н.А. Озерова приходит к близким изложенным выше представлениям о "разноэтажности" в положении источников, с одной стороны, легколетучей ртути, с другой — прочих наиболее распространенных рудных элементов.

Большой интерес для рассматриваемых в этой главе вопросов представляют также выводы Н.А. Озеровой о тесной ассоциации ртути и углеводородов в процессе дегазации мантии. Свидетельством этому является, например, высокое содержание ртути на нефтяном месторождении Цимрик в Калифорнии. При этом месторождение контролируется тем же глубинным разломом Сан-Андреас, с которым связано ртутное оруденение Калифорнии. В пределах Ставропольского свода в местах пересечения цепочек локальных структур общекавказского и поперечного к ним простирания присутствует ряд месторождений газа, в основном метана, содержащего повышенные количества гелия и ртути. Последняя обнаружена также на газовом месторождении Гронинген в Центральной Европе. Во всех примерах, приводимых Н.А. Озеровой, подчеркивается положение соответствующих месторождений углеводородов и ртути в узлах пересечения разломов глубокого заложения.

Возникает, однако, вопрос: можно ли считать, что и углеводороды, так же как и ртуть, поднимаются из глубин, превосходящих те, которые являются главными источниками магматических расплавов и большинства рудных элементов? В пользу этого говорят имеющиеся данные о важной роли нижней мантии в дегазации Земли, и присутствие в составе глубинных флюидов, длительно и медленно выделяющихся из нижней мантии, наряду с глубинным изотопом гелия углеводородов.

Среди докладов второго совещания по дегазации Земли и геотектонике привлекает к себе внимание также доклад И.Н. Толстихина [13], указавшего на повышенные значения изотопных отношений  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в "горячих пятнах" по сравнению с этим отношением в веществе генетически связанном с верхней мантией ( $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$  и до  $5 \cdot 10^{-5}$ ). Делается заключение, что вещество, поднимающееся к поверхности в области "горячих точек", по изотопным геохимическим характеристикам, вероятно, может быть идентифицировано с нижней, необедненной мантией.

В недавнее время к проблеме рудногеохимической зональности глубоких слоев тектоносферы обратились А.Д. Щеглов и И.Н. Говоров [62]. Эти авторы предприняли попытку составления "принципиальной схемы", соответствующей зональности, исходя из конденсационной модели (последовательности конденсации элементов из газовой пылевой туманности) и из данных изучения рудной минерализации в ксенолитах магнезиально-железистых эклогитов и пироксенитов, образующихся на глубине не свыше 400 км. Несмотря на то что составлению этой схемы авторы предпосылают обзор имеющихся данных о содержании отдельных рудных элементов в ксенолитах мантийных пород и в углистых хондритах, она остается в достаточной степени гипотетичной, сопровождаясь привлечением ряда произвольных

допущений, таких, например, как происхождение кислых пород путем плавления коэситовых эклогитов, образующихся в процессе метаморфизма погрбенной протокры.

Столь же условными, по существу, являются и приводимые в монографии упомянутых авторов "рудно-геохимические модели тектоносферы" Тихоокеанской окраины по двум различным профилям. В основу этих построений положены, с одной стороны, сведения о размещении различных типов месторождений и о характере сопровождающего их магматизма, с другой — ничем дополнительно не аргументированные, чисто гипотетические представления об источнике и условиях зарождения тех или иных магм в различных подкоровых зонах. Так, например, о районе Кавалеровского рудного узла говорится, что родоначальная базальтовая магма соответствующего комплекса "имеет мантийное происхождение и образована путем частичного плавления оловоносного пироксенитового субстрата под воздействием флюидов, генерированных эклогитовым диапиром" [62. С. 240—241]. И хотя авторы не останавливаются специально на принципах составления "рудно-геохимических моделей тектоносферы", остается предположить, что они относят рудные элементы, преобладающие в тех или иных месторождениях, к глубинам, откуда, согласно их построениям, поступают гипотетические диапиры. Несмотря на то что сама попытка подобных построений, несомненно, интересна, воспользоваться ими для рассматриваемых нами вопросов пока не представляется возможным.

Опираясь на данные В.А. Вахрушева (1971, 1980 гг.) о наличии рудных "капель" в ксенолитах из верхней мантии, авторы монографии предполагают обогащенность последней никелем, кобальтом, медью и золотом. В результате, "эклогитовые диапиры и базальтоидные астенолиты могут выноситься к основанию коры...эмбриональные месторождения" [62. С. 218].

Приведем предварительную схему процессов специализации и концентрации оруденения в их связи с развитием магматизма. Медленная дегазация нижней или средней мантии поставляет в вышележащие зоны ряд некогерентных и легколетучих элементов, в числе которых углеводороды и водород принимают значительное участие. Эти глубинные флюиды, способствующие тепломассопереносу, приводят в пределах верхней мантии к возникновению магматических расплавов и мобилизуют рудные элементы из специализированных блоков последней. При этом наиболее интенсивная дегазация контролируется каналами, продолжающимися на глубину за пределы верхней мантии. Последние контролируют расположение в земной коре наиболее крупных месторождений полезных ископаемых.

Вопрос о возможных реакциях, участвующих в мобилизации вещества, был затронут ранее в главе III. Нам представляется заманчивым обратиться к упомянутой гипотезе Р.Н. Слободского, согласно которой рудные элементы переносятся в виде элементо-органических соединений. В пользу подобной трактовки этого вопроса говорят приведенные выше убедительные данные об участии углеводородов в глубинной дегазации Земли.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как можно видеть из всего изложенного в монографии, взаимоотношения магматизма и оруднения неоднозначны в различных геологических ситуациях, что находится в непосредственной связи с многообразием развития эндогенных процессов. Так, существенно различны эти взаимоотношения для крупных рудных объектов и мелких рудопроявлений.

Из рассмотрения положения магматических и рудообразующих процессов в истории развития литосферы сделан вывод, что именно эти процессы ставят существенные препятствия на пути основных положений "тектоники плит." Длительность прерывистого проявления магматизма, а местами и рудообразования, измеряемая сотнями миллионов лет и сосредоточенная на ограниченных по площади участках, в корне противоречит представлениям о значительных горизонтальных передвижениях плит. Попытки сторонников этой гипотезы подойти на ее основе к металлогеническим обобщениям, как удалось показать, не дают ничего нового по сравнению с известными положениями об обычной пространственной ассоциации тех или иных типов оруднения с определенными магматическими формациями. Анализ взаимоотношения последних в их абстрактной форме с определенными рудными формациями показал, что здесь мы имеем дело с закономерной зависимостью, которая, однако, не может расцениваться как наличие генетического родства между этими образованиями. Наличие устойчивой связи между определенными магматическими и рудными формациями следует рассматривать как их принадлежность к единому глубинному процессу, отдельными звеньями которого они являются. В ходе этого процесса крупные рудные объекты формируются в периоды тектоно-магматической активизации в связи со специфическими сквозными и орогенными структурами. В числе последних значительная роль принадлежит концентрическим образованиям (куполам и кальдерообразным депрессиям).

Многочисленные примеры непосредственно наблюдаемых взаимоотношений между интрузивами, эффузивами и дайками, с одной стороны, и оруднением, принадлежащим к различным рудным формациям, — с другой, показали, что в подавляющем большинстве случаев оруднение оторвано по времени своего образования от интрузивных и субвулканических тел и тесно связано с разнообразными дайковыми сериями. Последние во многих случаях отличаются значительно большей основностью состава по сравнению с предшествующими им интрузивами. Только для некоторых высокотемпературных рудных

формаций есть основание предполагать более тесную связь в гранитоидах.

При обсуждении условий концентрации рудного вещества отмечено, что геохимическая специфика магматических серий зависит не только от обогащенности тем или иным элементом исходного субстрата палингенных магм, но и в еще большей степени от состава тех глубинных эманаций, которые явились одной из причин магмообразования. Глубинные эманации могут как непосредственно участвовать в рудообразовании, так и способствовать концентрации рассеянного рудного вещества. Среди процессов, способствующих подобной концентрации, ведущее значение имеют контаминация и сопутствующие ей эманационная дифференциация и ликвация. Ведущим направлением подобной дифференциации является накопление калия и летучих компонентов на границе с ксенолитами и породами кровли. Несмотря на то что подобные явления наблюдаются при изучении самих интрузивных тел, есть все основания предполагать, что механизм подобной дифференциации сохраняет свое значение и на больших глубинах, способствуя накоплению калия, летучих и рудных компонентов в эндоконтактных частях расплавов. Происходящие как следствие этого явления ликвации способствуют, согласно А.А. Маракушеву, отделению рудоносного флюида.

Далее были рассмотрены представления Л.В. Таусона в отношении геохимических типов магматических расплавов. В основе этих представлений лежит допущение роли определенных интрузивов в качестве источника рудного вещества. Однако весь приводимый в данной монографии материал свидетельствует о том, что для подавляющего большинства крупных и уникальных по масштабам рудных объектов взаимоотношения с интрузиями являются более сложными, а магматический процесс — многоактным и растянутым во времени на десятки и даже сотни миллионов лет. Поэтому и основной источник рудоносных флюидов должен быть более глубинным, чем тот или иной магматический очаг. Что же касается экспериментальных исследований, имеющих прямое отношение к проблемам связи магматических и рудообразующих процессов, то до недавнего времени они были в основном ориентированы на изучение условий и форм отщепления рудоносных флюидов от конкретных магматических расплавов и на формы переноса рудного вещества, и только за последние годы при обсуждении результатов экспериментов исследователи частично обратились к роли глубинных мантийных флюидов, как в рудо-, так и в магмообразовании. В составе подобных флюидов, как это было за последнее время показано многими исследователями, по-видимому, велика роль углеводов (УВ) и элементоорганических соединений (ЭОС). При этом явления палингенеза рассматриваются в качестве результата окисления УВ, а ЭОС — в качестве переносчиков рудных элементов и серы.

Одним из важных положений монографии является заключение о роли сквозных систем нарушений и узлов длительной эндогенной активности в образовании крупных рудных месторождений.

Краткое описание подобных структур приводится в соответствии с разработанной при участии автора металлогенической концепцией. На многочисленных примерах, включающих рудные формации различных элементов, показано, что в некоторых рудных узлах эндогенный процесс проявляется в виде отдельных импульсов в течение сотен миллионов лет. В других рудных узлах общая длительность подобных процессов не превышает десятки миллионов лет, но они отличаются многофазностью и сближенностью отдельных этапов активности.

Наконец, на основе всего изложенного в монографии была сделана попытка привлечь представления о неоднородности мантии для объяснения магмо- и рудноформационной специализации и концентрации рудного вещества. Анализ имеющихся данных по истории образования и глубинному строению нашей планеты позволил сделать вывод, что в силу вертикальной расчлененности и дифференцированности мантии имеется достаточно оснований предполагать следующее: источники, определяющие, с одной стороны, специализацию, а с другой — концентрацию рудного вещества, могут располагаться на различной глубине. Миграция флюидов из нижней мантии, судя по имеющимся термодинамическим расчетам, возможна по вертикальным ослабленным зонам на границе разнородных мантийных блоков. Исходя из всего изложенного высказана гипотеза, согласно которой рудная специализация трансрегионального масштаба может зависеть от соответствующей специализации блоков верхней мантии, а флюиды, осуществляющие концентрацию оруденения (летучие и некоторые другие некогерентные элементы), проникающие по сквозным системам нарушений, имеют более глубокий источник.

В заключение кратко коснемся вопроса о том, какие из описанных в монографии закономерностей могут быть использованы для прогноза при поисках месторождений. Как уже отмечалось, глобальные построения, такие, как "тектоника плит", не дают нам новых возможностей для подобного прогноза. Учение о специализированных рудоносных формациях также слабо приближает нас к решению вопроса, так как далеко не все специализированные магматические комплексы сопровождаются промышленным оруденением. Путь к локальному прогнозу лежит, как нам удалось это подтвердить на практике, через изучение сквозных рудоконцентрирующих систем нарушений и узлов длительной эндогенной активности. На этом пути магматизм изучается вначале с позиции выделения сквозных рудоконцентрирующих систем в тесной связи с их структурными, геофизическими и геохимическими признаками. Затем в пределах этих структур выделяются узлы наибольшей тектонической нарушенности, сопровождающиеся обычно многофазным и длительно развивающимся магматизмом и интенсивными метасоматическими явлениями. Именно такие узлы, в которых тем не менее специализированные рудоносные интрузии могут и отсутствовать, являются наиболее перспективными объектами для локального прогноза.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аверьев В.В.* Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. Т. 1. С. 118—128.
2. *Акопян М.С., Мелконян Р.Л., Пароникян В.О.* Взаимоотношение магматизма и рудообразования в свете изотопно-кислородной геохимии (на примере Алавердского рудного района) // Тез. докл. VI симпози. Междунар. ассоц. по генезису рудных месторождений. Тбилиси: КИМС, 1982. С. 59—60.
3. Анализ космических снимков при тектономагматических и металлогенических исследованиях/М.А. Фаворская, В.А. Баскина, И.К. Волчанская и др. М.: Наука, 1979. С. 164.
4. *Баскина В.А.* Магматизм рудоцентрирующих структур Приморья. М.: Наука, 1982. С. 260.
5. *Баскина В.А.* Магматизм рудоцентрирующих структур: Автореф. дис. ...докт. геол.-минерал. наук. М.: ИГЕМ АН СССР, 1985. С. 37.
6. *Белоусов В.В.* Некоторые тенденции в современных науках о Земле // Природа. 1984. N 6. С. 3—17.
7. *Волчанская И.К., Кочнева Н.Т., Сапожникова Е.Н.* Морфоструктурный анализ при геологических и металлогенических исследованиях. М.: Наука, 1975. С. 152.
8. *Горшков Г.П., Островский И.А.* О связи рудных месторождений с мантийными источниками // Очерки геологической петрологии. М.: Наука, 1976. С. 284—289.
9. *Григорьев Ив.Ф., Долманова Е.И.* К вопросу о взаимоотношении оловянного оруденения с дайковыми породами в Забайкалье // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1957. N 1. С. 67—89.
10. Двадцать седьмой Международный геологический конгресс. Секция С. 09. Петрология: Доклады. М.: Наука, 1984. Т. 9. С. 263.
11. Двадцать седьмой Международный геологический конгресс. Секция 12: Тезисы. М.: Наука, 1984. Т. 6. С. 375.
12. Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 292.
13. Дегазация Земли и геотектоника: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1985. С. 200.
14. *Добрецов Н.Л.* Введение в глобальную петрологию. Новосибирск. Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 200.
15. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1986. Т. 10, N 5. 120 с.
16. Изотопы свинца в рудных месторождениях/Пер. с англ. под ред. А.И. Тугаринова. М.: Атомиздат, 1969. С. 344.
17. *Карпова Е.Д.* Сводово-глыбовые области и их металлогения // Проблемы региональной металлогении и эндогенного минералообразования. М., 1968. С. 224—250. (Тр. ВСЕГЕИ; Т. 155).
18. *Коваленко В.И., Коваль П.В., Антшин В.С., Якимов В.М.* Проблемы потенциальной рудоносности магматических пород зон тектоно-магматической активизации (на примере мезозоя западной части Монголо-Охотского пояса) // Петрология и петрохимия рудоносных магматических формаций. М.: Наука, 1981. С. 68—132.
19. *Коптев-Дворников В.С., Руб М.Г.* О геохимической и металлогенической специализации магматических комплексов // Металлогеническая специализация магматических комплексов. М.: Недра, 1964. С. 7—24.
20. *Коржинский Д.С., Перцев Н.Н., Зотов И.А.* Трансмагматические флюиды и магматогенное рудообразование. К проблеме мантийного источника оруденения // Тез. докл. VI симпози. Междунар. ассоц. по генезису рудных месторождений. Тбилиси: КИМС, 1982. С. 31—32.
21. *Котляр В.Н., Фаворская М.А.* О взаимоотношении некоторых типов оруденения с эффузивными формациями // Тез. I

Всесоюз. вулканол. совещ. Ереван: ИГН АН АрмССР, 1959. С. 31—35.

22. Критерии прогнозной оценки на твердые полезные ископаемые/Под ред. Д.В. Рундквиста. Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1978. С. 607.

23. Ляхович В.В. О признаках рудогенерирующей способности гранитоидов // Геология руд. месторождений, 1969. Т. 11, N 2. С. 30—41.

24. Макаров В.И. Линеаменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических средств и методов)/Исслед. Земли из Космоса. 1981. N 4. С. 109—115.

25. Маракушев А.А. Петрогенезис и рудообразование. М.: Наука, 1979. С. 264.

26. Москалева В.Н. Формации и серии магматических пород. М: ГИН АН СССР, 1985. С. 22—24.

27. Набоко С.И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1980. С. 199.

28. Овчинников Л.Н., Челищев Н.Ф. О влиянии комплексобразования на характер распределения компонентов между сосуществующими фазами//Очерки физико-химической петрологии. М.: Наука, 1969. С. 243—248.

29. Петрографические критерии ликвации в кислых лавах. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 99.

30. Поповняк И.В., Демин Г.Г., Левицкий В.В. и др. Новые данные о летучих компонентах мантийных минералообразующих сред//Докл. АН СССР. 1980. Т. 254. N 5. С. 1238—1241.

31. Проблемы геологии и полезных ископаемых на XXV сессии МГК. М.: Наука, 1979. 319 с.

32. Редкометальные граниты и проблемы магматической дифференциации. М.: Недра, 1972. 301 с.

33. Рингвуд А.Е. Состав и происхождение Земли: XVII чтения им. Вернадского. М.: Наука, 1981. 113 с.

34. Родонов С.М., Фаворская М.А., Волчанская И.К. Влияние разнотипных структур на металлогеническую зональность//Сов. геология. 1984. N 5. с. 85—95.

35. Руб М.Г., Коптев-Дворников В.С. Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов//Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. Иркутск: Наука, 1970. Ч. 1. С. 3—46.

36. Рудник В.А., Соботович Э.В. Ранняя история Земли. М.: Недра, 1984. С. 350.

37. Рудоносность и геологические фор-

мации структур земной коры/Под ред. Д.В. Рундквиста. Л.: Недра. Ленингр. отд-ние, 1981. 423 с.

38. Рундквист Д.В., Денисенко В.К., Неженский И.А., Павлова И.Г. О закономерности размещения редкометалльных месторождений Центрального Казахстана//Тр. ВСЕГЕИ. Н.С. 1966. Т. 133. С. 44—82.

39. Рябчиков И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. М.: Наука, 1975. 232 с.

40. Слободской Р.М. Элементарноорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. Вып. 486. 134 с.

41. Смирнов В.И. Металлогения геосинклиналей//Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 19—81.

42. Смирнов В.И. Зоны Беньюфа и магматогенное рудообразование//Геология руд. месторождений. 1974. Т. 16, N 1. С. 3—17.

43. Соботович Э.В., Бортницкий Е.Н., Цюнь О.В., Кононенко Л.В. Справочник по изотопной геохимии. М.: Энергоиздат, 1982. 241 с.

44. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность. М.: Наука, 1977. 279 с.

45. Твалчредидзе Г.А. Металлогения земной коры. М.: Недра, 1985. 161 с.

46. Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения//Сов. геология. 1968. N 10. С. 6—20.

47. Томсон И.Н., Фаворская М.А. О типах очаговых структур и связи с ними оруденения//Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Наука, 1973. Т. 10. С. 49—65.

48. Томсон И.Н., Крацов В.С., Кочнева Н.Т. и др. Металлогения скрытых линеаментов и концентрических структур. М.: Недра, 1984. 272 с.

49. Тузовик Г.И. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 1984. 192 с.

50. Фаворская М.А. Верхнемеловой и кайнозойский магматизм восточного склона Сихотэ-Алиня. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 306.

51. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Иванов Р.Г. и др. Связь магматизма и эндогенной минерации с блоковой тектоникой. М.: Недра, 1969. 264 с.

52. Фаворская М.А., Кушев В.Б., Сапожникова Е.Н. Особенности образо-

вания Мяо-Чанской купольной структуры//Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР. М.: Наука, 1972. С. 17—41.

53. *Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А.* и др. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений. М.: Недра, 1974. 193 с.

54. *Фаворская М.А.* Проблема связи оруднения с магматизмом//Магматизм, метаморфизм и оруднение. Фрунзе: Изд-во АН КиргССР, 1978. С. 30—39.

55. *Фаворская М.А., Баскина В.А., Шилин Н.Л.* и др. Рудоконцентрирующие структуры Азии и их металлогения. М.: Недра, 1983. 192 с.

56. *Фаворская М.А.* Эволюция эндогенных процессов при формировании оловянных и свинцово-цинковых месторождений Приморья//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1985. N 10. С. 28—35.

57. *Фаворская М.А., Волчанская И.К., Сапожникова Е.Н.* и др. Тектоника, магматизм и оруднение сквозных систем нарушений. М.: Наука, 1985. 168 с.

58. *Флоровская В.Н., Зезин Р.Б., Овчинникова Л.И.* и др. Углеродистые вещества в различных генетических типах горных пород и полезных ископаемых//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1969. N 3. С. 110—120.

59. *Фогельман Н.А.* Тектоника мезозойского сводового поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений//Тр. ЦНИГРИ. 1968. Вып. 84. С. 196.

60. *Чайка В.М., Ужгалис Э.В.* Орогенный магматизм сахарских сводов и рифтов (центральная часть Северной Африки)//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1976. Т. 51, вып. 5. С. 133—144.

61. *Щеглов А.Д.* Металлогения областей автономной активизации. Л.: Недра. Ленингр. отд-ние, 1968. 180 с.

62. *Щеглов А.Д., Говоров И.Н.* Нелинейная металлогения и глубины Земли. М.: Наука, 1985. 323 с.

63. *Guild P.W.* Distribution of metallogenic provinces in relation to major Earth features//Erdwiss. Kommis. Öster. Akad. Wiss. 1973. Bd. 1. S. 10—24.

64. *Heyls A.V.* The 38th parallel lineament and its relationship to ore deposits//Econ. Geol. 1972. Vol. 67. P. 879—894.

65. *Kutina Y.* Concentration of uranium in areas where the Appalachian Folded Belt is intersected by major east-west trending basement fractures zones//Global tectonics and metallogeny. Wash. (D. C.), 1981. Vol. 1, N 3. P. 254—275.

66. *Kutina Y., Bowes W.A.* Structural criteria defining the granite mountain area in NW Nevada as a target for mineral exploration//Global Tectonic and Metallogeny. 1982. Vol. 1, N 4. P. 336—354.

67. *Leech G.B., Wanless R.K.* Lead isotope and Potassium-Argon studies in the East Kootenay District of British Columbia//Petrol. Stud. Vol. to Honour A.F. Buddington. 1962. Nov. P. 241—280.

68. *Noble J. A.* Metal provinces of the Western United States//Bull. Geol. Soc. Amer. 1970. Vol. 81. P. 1607—1624.

69. *Sun Shen-Su.* Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle//Geochim. et cosmochim. acta. 1982. Vol. 46. P. 179—192.

70. *Woodhouse J.H., Dziewonski A.M.* Mapping the upper mantle: Three-dimensional modelling of Earth structure by inversion of seismic waveforms//J. Geophys. Res. 1984. Vol. 89, N 137. P. 5953—86.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Глава I	
О положении магматических и рудообразующих процессов в геологической истории Земли .....	5
Закономерности развития магматизма и рудообразования в свете геосинклинальной концепции и представлений о тектоно-магматической активизации .....	5
Закономерности развития магматизма и рудообразования в свете "Новой глобальной тектоники" .....	12
Глава II	
Магматические формации и комплексы и связь с ними оруденения .....	25
О взаимоотношении абстрактных магматических и рудных формаций .....	27
О геологических аспектах связи оруденения с магматическими комплексами .....	29
Геологические признаки связи оруденения с интрузивными комплексами .....	30
Геологические признаки связи оруденения с вулканическими образованиями .....	37
Дайки и оруденение .....	44
Процессы контаминации и дифференциации магматических расплавов как стимуляторы обособления рудообразующих флюидов .....	49
О сквозьмагматических флюидах .....	54
Глава III	
Особенности вещественного состава магматических и рудных образований как критерии их связи .....	56
Геохимическая и металлогеническая специализация магматических расплавов (к истории вопроса) .....	56
Потенциальная рудоносность магматических расплавов .....	58
Геохимические типы магматических расплавов и связанное с ним оруденение .....	61
Использование изотопного состава элементов в качестве критерия связи оруденения с магматизмом .....	64
Экспериментальные исследования поведения рудных элементов в магматических и постмагматических процессах .....	66
О возможной роли интрателлурических потоков углеводородов в магмо- и рудообразовании .....	74
Глава IV	
Взаимоотношения магматических и рудообразующих процессов в ходе формирования крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых .....	79
О положении магматических и рудообразующих процессов в истории развития сквозных систем нарушений рудоконцентрирующего типа .....	79
Об узлах повышенной эндогенной активности .....	91
Глава V	
Неоднородность мантии как возможная причина магмо- и рудноформационной специализации и концентрации рудного вещества .....	104
Заключение .....	121
Литература .....	124

Марина Алексеевна Фаворская

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СВЯЗИ  
ОРУДЕНЕНИЯ  
И МАГМАТИЗМА**

*Утверждено к печати  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институтом геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии АН СССР*

Редактор *Т.А. Касаткина*  
Художник *А.Д. Смеляков*  
Художественный редактор *В.В. Алексеев*  
Технический редактор *Л.Н. Богданова*  
Корректор *З.Д. Алексеева*

Набор выполнен в издательстве  
на электронной фотонаборной системе

ИБ № 35181

Подписано к печати 29.07.87. Т — 15745  
Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная № 1  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная  
Усл.печ.л. 8,0. Усл.кр.-отт 8,3. Уч.-изд.л 9,7  
Тираж 750 экз. Тип. зак. 1680. Цена 1 р. 90 к.

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство "Наука" 117864 ГСП-7,  
Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Ордена Трудового Красного Знамени  
1-я типография издательства "Наука"  
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

1 р. 90 к.

4914