





О С Н О В Ы
ГЕОХИМИЧЕСКИХ
М Е Т О Д О В
ПОИСКОВ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методическое пособие

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР
Всесоюзный научно-исследовательский институт методики и техники разведки
/ В И Т Р /

=====

550.84:553

ОСНОВЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(методическое пособие)

Часть II

Рассеянное состояние элементов и его
прикладное значение

Нормальное первично-конституциональное
рассеяние в литосфере

Ленинград
1962



16180
1489

Составил Н.И.САФРОНОВ.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр
Введение.....	5
Классификация рассеяния.....	5
ГЛАВА I. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рас- сеяние /нормальный геохимический фон/ в литосфере.....	10
Определение и общие сведения.....	
§1. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рас- сеяние /нормальный геохимический фон/ в изверженных горных по- родах.....	12
А. Определение и общие сведения.....	12
Б. Примеры практики.....	27
В. В ы в о д ы.....	46
§2. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рас- сеяние /нормальный геохимический фон/ в осадочных горных породах	
А. Определение и общие сведения.....	47
Б. Примеры практики.....	57
В. В ы в о д ы.....	65
§3. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рас- сеяние /нормальный геохимический фон/ в метаморфических горных породах.....	67
А. Определение и общие сведения.....	67
Б. Примеры практики.....	68
§4. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рас- сеяние /нормальный геохимический фон/ в минералах.....	72
А. Определение и общие сведения.....	72
Б. Примеры практики.....	72
Общие выводы из данных по нормальному первично-конституциональ- ному рассеянию в литосфере.....	80
Литература.....	81

ВВЕДЕНИЕ - КЛАССИФИКАЦИЯ РАССЕЙНИЯ

Важнейшим выводом из изложенного в первой части настоящего методического пособия является то основное положение, что общим видом существования элементов в земной коре, особенно рудообразующих, есть состояние рассеяния, в зависимости от особенностей рассматриваемых элементов - в минеральном или безминеральном виде. На этом фоне всеобщего рассеяния, участки концентраций элементов - в частности рудные месторождения - представляются исключениями, частоты встреч которых находятся в обратной зависимости от практической значимости концентраций. В то же время, при современном состоянии горноперерабатывающей техники, промышленность предъявляет спрос именно на эти исключения - месторождения.

До недавнего времени выявление рудных месторождений осуществлялось на основе использования геологических и минералогических особенностей этих образований. Успехи физических наук XX века позволили обогатить арсенал руднопоисковых средств за счет разнообразных, все время развивающихся геофизических приемов. Естественным является стремление установить и самым широким образом использовать в руднопоисковых целях объективно существующие геохимические закономерности, связующие поля рассеяния с включенными в них рудоносными участками.

Одной из первых целеустремленных попыток привлечения геохимии для непосредственных поисков рудных месторождений скрытых под покровом рыхлых пород явились работы, выполненные в 30-х годах А.П.Солововым, Н.И.Сафроновым и др. В основу этих работ были положены представления об ореолах вторичного рассеяния месторождений, как об образованиях, закономерно возникающих в рыхлом покрове над любыми месторождениями, выходящими на эрозионный срез коренных пород и вовлеченными в цикл гипергенеза. В последующем эти работы и представления послужили фундаментом для широкого развития в практике работ разнообразных металлометрических поисковых съемок.

Параллельно с упомянутым направлением развития геохимических работ, были проведены исследования по выявлению геохимических особенностей коренных пород, непосредственно вмещающих рудные месторождения. Эти исследования показали, что рудные месторождения сопровождаются образованием во вмещающих породах более или менее широких оболочек, характеризующихся повышенными содержаниями главных и парагенетических с ними рудообразующих элементов. Эти оболочки получили название ореолов первичного рассеяния месторождений. Как показали дальнейшие исследования, изучение ореолов первичного рассеяния месторождения весьма облегчает обнаружение слепых рудных залежей. Наконец, в самые последние годы стали выявляться такие геохимические закономерности рассеяния в изверженных, осадочных и метаморфических породах, которые не только расширяют возможности геологического изучения этих образований / их

генезиса, родственных связей и т.п./, но и позволяют оценивать вероятности обнаружения в связи с ними тех или иных рудных месторождений. Таким образом, в настоящее время имеются все основания говорить о возникновении особой области практических знаний - прикладной геохимии, находящейся в такой же связи с общей геохимией, в какой прикладная геофизика находится с физикой земного шара. В основе прикладной геохимии лежит всестороннее выявление, исследование и использование в геолого-поисковых целях закономерностей всеобщего поля рассеяния элементов. Ниже сделана попытка изложения затронутых вопросов.

В качестве первого шага в указанном направлении, необходимо создать соответствующую классификацию всеобщего рассеяния, имеющую практическое приложение. Эта классификация, прежде всего, должна учитывать накопленные факты, а именно:

а/ Повсеместное рассеяние всех элементов, охватывающее собой всевозможные твердые, жидкие и газообразные геологические образования во всех верхних геосферах / литосфере, гидросфере, атмосфере, биосфере/.

б/ Существование рассеяния в двух видах - минеральном и безминеральном, преимущественно в последнем, при наличии многообразия форм безминерального вида существования.

в/ Наличие двойственной природы рассеяния, которое по своему временному отношению к несущим его образованиям может быть одновременно возникшим с ними, т.е. сингенетичным, /например, рассеяние в неизмененных изверженных породах/, либо же вторично наложенным на уже сформированные геологические образования, т.е. эпигенетичным /например, рассеяние рудных минералов в ореоле гидротермальной жилы/.

г/ Преобладание в поле всеобщего рассеяния однообразно низких содержаний элементов, близких к кларкам этих элементов или принимаемых за таковые, при ярко выраженной сингенетичности рассеяния и его носителей.

д/ Наличие на общем фоне кларкового рассеяния отдельных участков, характеризующихся аномально повышенными содержаниями рассеянных элементов. По своей природе и по отношению к своим носителям, эти геохимически повышенные содержания могут быть как эпигенетичными /например, ореолы вторичного рассеяния месторождений/, так и сингенетичными /например, ореолы первичного рассеяния собственно магматических (сегрегационных) месторождений/.

Перечисленные природные факты позволяют обосновать и предложить несколько систем классификаций рассеяния элементов. Наиболее последовательной, с нашей точки зрения, будет являться генетическая классификация рассеяния, в основу которой положены временные взаимоотношения самого рассеяния и его носителей. Эта же классификация будет иметь и практическое значение, поскольку при исследовании рассеяния в том или ином геологическом образовании генетические взаимоотношения рассеяния и его носителя являются первостепенными факторами /при этом предполагается, что применяемые приемы и средства исследования оказываются в состоянии разрешить поставленную проблему,

что в большинстве случаев и имеет место на практике/.

Действительно, в случае установления рассеяния элемента в горных породах, в формах не оставляющих сомнения в сингенетичности рассеяния и его носителя должны быть сделаны геологические выводы одного порядка и другие — если рассеяние того же элемента в тех же породах устанавливается как эпигенетическое. Например, обнаружение зерен тех или иных рудных минералов в аксессуарных неизмененных изверженных пород должно истолковываться как сингенетичное, имеющее более общегеологическое, нежели поисковое значение, тогда как вкрапленность подобных же минералов со следами явного привноса в уже оформленную породу дает повод рассматривать ее как эпигенетичную и безусловно имеющую прямое поисковое значение. Аналогичным образом, обнаружение того или иного рудообразующего элемента в виде безминеральной примеси в элювиально-делювиальных обломках пород должно рассматриваться как свидетельство унаследования обломками сингенетичного рассеяния исходного монолита /без каких-либо поисковых выводов/, тогда как обнаружение этого же элемента в форме сорбата в глинистой фракции того же элювиально-делювиального покрова говорит о безусловной эпигенетичности рассеяния и позволяет предположить наличие каких-то коренных источников, обусловивших возникновение сорбата.

Конечно, количественная сторона явления также должна учитываться. Так, если в поле сингенетичного рассеяния наблюдается устойчивый градиент в содержаниях, можно говорить о наличии аномалий, возможно, в виде первичного ореола собственно магматического сегрегационного месторождения; аналогичным образом градиенты содержаний должны наблюдаться в аномальном поле сорбационного рассеяния.

В соответствии с изложенным и преследуя цель классифицировать рассеяние, прежде всего, применительно к рассеянию рудообразующих элементов / в широком смысле слова/, можно выделить, как было предложено автором /I/, два основных класса:

- а/ сингенетичное, или первично-конституциональное рассеяние;
- б/ эпигенетичное, или вторично-наложенное рассеяние.

Отметим, что в природе чаще всего будут встречаться случаи смешанного рассеяния с участием в нем, в тех или иных пропорциях, составляющих обоих главных классов, однако с обязательным присутствием, согласно закону всеобщего рассеяния, сингенетичной составляющей.

Виды и формы существования элементов в различных классах рассеяния определяются основными геохимическими особенностями элементов и, в общем случае, будут различными.

Накопленные фактические материалы заставляют различать внутри класса сингенетичного / первично-конституционального / рассеяния два подкласса: нормальное и аномальное первично-конституциональные рассеяния.

Нормальное первично-конституциональное рассеяние /или нормальный первичный геохимический фон/ охватывает собой все геосферы, являясь нагляд -

ным выражением основного закона геохимии о всеобщем рассеянии; поле этого подкласса рассеяния характеризуется регионально выдержанными содержаниями элементов, /являющихся кларковыми или принимаемыми за таковые/ и такого же рода градиентами, либо же их отсутствием. В этом вопросе наблюдается некоторая аналогия с нормальным магнитным полем земли.

Аномальное первично-конституциональное рассеяние проявляется на явно ограниченных участках и возникает в некоторых изверженных и осадочных породах в связи с имевшими место в них сингенетичными процессами рудообразования. Поле этого подкласса рассеяния характеризуется повышенными /против кларковых/ содержаниями элементов, закономерно изменяющимися в пространстве и четко выраженными градиентами содержаний. Наиболее яркими представителями подкласса могут служить ореолы первичного рассеяния собственно магматических (сегрегационных) и осадочных месторождений.

Эпигенетичное - вторично-наложенное рассеяние - возможно подразделить на подклассы так же по генетическому признаку с одновременным учетом масштаба площадей проявления. В результате могут быть выделены:

а/ ореолы первичного рассеяния постмагматических рудных тел, месторождений и полей, возникающие в связи с процессами рудообразования и проявляющиеся во вмещающих коренных породах;

б/ ореолы / в том числе потоки / вторичного рассеяния рудных тел, месторождений и полей любого генезиса, возникающие в связи с процессами вторичных изменений коренных источников и проявляющиеся в перекрывающих рыхлых образованиях и коре выветривания.

Суммарные содержания элементов в полях указанного класса рассеяния по сравнению с кларковыми всегда повышены и закономерно изменяются в пространстве; всегда наблюдаются резко выраженные градиенты содержаний.

Дальнейшую классификацию ореолов вторичного рассеяния рационально произвести с выделением механических, солевых и газовых ореолов, в соответствии с главными видами существования в них элементов рассеяния / в виде первичных минералов, вторичных продуктов выветривания, газообразных продуктов/.

На рис. I приведена общая схема принятой нами классификации. Изложение последующего материала, в своей основе, следует приведенной схеме. Однако принимая во внимание уже наметившийся подход к исследованию рассеяния и выработанную терминологию, в тексте были сделаны отступления, а именно:

В главе I рассматривается только нормальное первично-конституциональное рассеяние /нормальный первичный геохимический фон/.

В главе II объединенно рассматриваются ореолы первичного рассеяния рудных месторождений любого генезиса.

В гл. III рассматриваются ореолы вторичного рассеяния рудных месторождений.

Есть основания полагать, что для практического использования подобная схема изложения будет наиболее приемлемой.

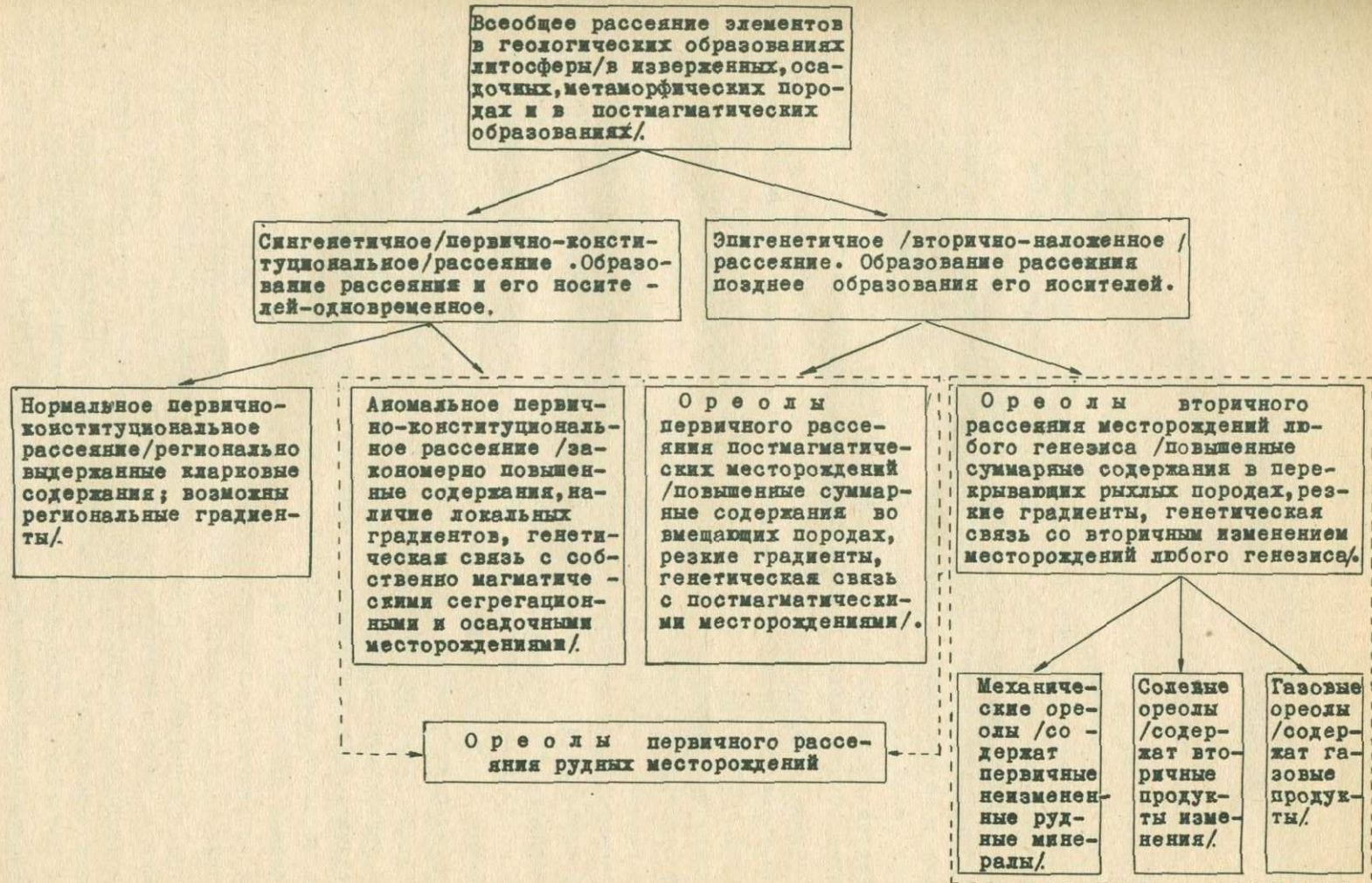


Рис. I

Г Л А В А I

НОРМАЛЬНОЕ ПЕРВИЧНО-КОНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ /СИНГЕНЕТИЧНОЕ/ РАССЕЯНИЕ /НОРМАЛЬНЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФОН/ В ЛИТОСФЕРЕ

Определение и общие сведения

Сингенетичным или первично-конституциональным рассеянием элементов мы будем называть рассеяние, существующее в породах с момента образования носителей и входящее в их состав как неотрывная конституциональная часть. Этот класс рассеяния является, в полном смысле слова, всеобщим и охватывает собой все твердые, жидкие и газообразные тела во всех четырех геосферах. Следуя идеям В.И.Вернадского, возникновение сингенетичного рассеяния может быть поставлено в прямую связь с действием естественного закона наибольшей устойчивости любой системы при минимальном значении ее внутренней энергии, что и достигается при рассосредоточенном состоянии атомов.

Тесное общение между всеми геосферами обеспечивает повсеместную сохранность и общность первично-конституционального рассеяния.

Наибольшее практическое значение имеет сингенетичное рассеяние в горных породах литосферы, в виде которого находится подавляющее количество массы ее элементов. Значимость изучения этого рассеяния в геологических целях особенно отчетливо выразил следующими словами финский геохимик Т.Г.Сахама /2/: „При решении вопросов о генезисе сильно или ультраметаморфизованных пород, о магматическом родстве известных интрузивных массивов, о возможной стратиграфической общности данных горизонтов осадочных пород и т.д. геолог должен помнить, что сопоставление состава акцессорных элементов представляет ему такие данные, которые не могут дать обычные химико-аналитические исследования... Новые и пока что мало употреблявшиеся приемы исследования при геологических съемках, среди которых изучение рассеянных элементов является только одним из приемов, должны проводиться совместно с обычными полевыми и лабораторными работами геолога-съемщика, чтобы стать действительно полезными“. К цитированному в настоящее время следует лишь добавить, что изучение первично-конституционального рассеяния представляет интерес и в смысле прямых рудных поисков.

Для большинства элементов, особенно рудообразующих, главным видом существования в сингенетичном рассеянии в литосфере является безминеральный. Формами его проявления служат: растворы в горных породах /изоморфные и не-изоморфные в твердом минеральном веществе и истинные и коллоидные в волосно- и молекулярно-щелочных внутрипородных водах/; растворы в жидких и газообразных включениях в минералах; квази-газообразное состояние; сорбированное состояние в природном минерально-поглощающем комплексе. Наряду с этим, некоторые специфические рудообразующие элементы /железо, титан, хром,

медь /?/ никель, сера, фосфор, цирконий и некоторые другие / могут существовать и в виде собственных первичных минералов, рассеянных в породах. Заметим, что рассматриваемое рассеяние проявляется также в форме истинных и коллоидных растворов в гидросфере, паров в атмосфере, коллоидных растворов и металлоорганических соединений в биосфере.

Характерными признаками, по которым, по нашему мнению, можно безошибочно установить принадлежность рассеяния к подклассу нормального первично-конституционального /сингенетического/ рассеяния являются: единообразно низкие содержания, равные кларковым или принимаемые за таковые; устойчивое сохранение значений средних содержаний во всех пределах распространения единообразных геологических образований; одинаковость в тех же пределах видов и форм существования элементов; отсутствие устойчивых градиентов содержаний в поле рассеяния, кроме региональных /в отдельных случаях/ и скачков на контактах между различными геологическими образованиями; отсутствие каких-либо геологических признаков локальных причин и путей привноса вещества в уже сформировавшиеся образования. При этом не должны приниматься во внимание неизбежные флюктуации в содержаниях, стоящие в связи с неравномерным распределением элементов в различных породообразующих минералах, внутри отдельно взятых минералов и т.п., что может привести к возникновению резких градиентов содержаний чисто локального, практически точечного порядка. Таким образом речь идет о содержаниях в представительных пробах исследуемого геологического образования и об отсутствии градиентов содержаний между его представительными участками.

В отношении практической значимости нормального сингенетического рассеяния необходимо, прежде всего, подчеркнуть его двойственность.

Во-первых, как увидим ниже, рассматриваемое рассеяние является столь же важной особенностью геологических образований, как и другие их минералогические, петрографические, кристаллооптические, петрохимические и пр. свойства. Поэтому, ни в коей мере нельзя отрицать способности нормального геохимического фона быть, в ряде случаев, решающим коррелирующим фактором. В отдельных случаях, состав и соотношения содержаний элементов нормального сингенетического рассеяния, повидимому, могут быть использованы непосредственно для целей рудных поисков, как средство перспективной оценки рудоносности интрузий, свит пород и т.п.

Во-вторых, указанная разнородность рассеяния, в силу своего повсеместного распространения приводит к тому, что все поисковые геохимические операции, связанные с исследованием наложенного рассеяния, приходится выполнять на фоне уже существующего первичного рассеяния. Это не может не приводить к трудностям интерпретации получаемых материалов, в частности, при выделении и определении наложенной составляющей рассеяния там, где она соизмерима с фоном или ниже его.

В последующем, особенности нормального первично-конституционального рассеяния рассмотрены более подробно и раздельно для изверженных, осадоч-

ных и метаморфических пород и специальных групп минералов, особенно для постмагматических образований. Помимо общих описательных сведений, приводятся необходимый минимум примеров из отечественного и зарубежного опыта.

§ I. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рассеяние /нормальный геохимический фон/ в изверженных горных породах

А. Определение и общие сведения

Прежде всего оговорим, что здесь и ниже под термином "изверженные породы", в полном соответствии с представлениями классической петрологии понимаются образования, возникшие в результате кристаллизации предварительно существовавших огненно-жидких расплавов-магм.

Как известно, изверженные породы по своей массе слагают 95% от верхнего 16-километрового этажа литосферы и именно с ними приходится прежде всего иметь дело при всякого рода рудных поисках и разведках.

Уже только поэтому изучению нормального сингенетичного рассеяния в изверженных породах необходимо уделить повышенное внимание. Вместе с тем, рассматриваемое рассеяние в упомянутых породах имеет первостепенное значение с геохимической точки зрения.

Так, во-первых, в виде нормального сингенетичного рассеяния в изверженных горных породах сосредоточены подавляющие количества масс "малых" элементов литосферы, что следует из преобладания изверженных пород в каменной оболочке земли и относительно высоких кларков большинства элементов в этой группе пород.

Во-вторых, рассматриваемое рассеяние, как главное в литосфере, питает собой сингенетичное рассеяние в группе осадочных /и метаморфических/ пород так же, как и рассеяние во всех остальных геосферах. Это обуславливается тем, что родоначальными для осадочных /и метаморфических/ пород являются изверженные породы и также тем, что существуют теснейшие контакты между всеми геосферами.

В-третьих, обнаружены и непрерывно накапливаются факты о взаимозависимости между нормальным сингенетичным рассеянием в изверженных горных породах и находящимися в генетической связи с ними многочисленными группами, классами и типами рудных месторождений.

Поэтому, рассмотрение основных вопросов, касающихся нормального первично-конституционального /сингенетичного/ рассеяния в изверженных горных породах будет произведено достаточно подробно.

Характернейшей особенностью нормального сингенетичного рассеяния в изверженных горных породах /как и любого класса рассеяния в любых геологических образованиях/ является его качественное однообразие, выражающееся в том, что в рассеянии присутствуют все элементы периодической системы Менделеева. Очевидно, что если бы все породы происходили из единого магмати-

ческого очага, при их кристаллизации не наблюдалась бы дифференциация, а физико-химические свойства всех элементов были бы одинаковыми, то следовало бы ожидать, наряду с качественной и количественную однообразность. Однако, как известно, в природе наблюдается множественность магматических очагов, а при затвердевании магмы — ее дифференциация.

Все это, в совокупности с различиями в свойствах элементов, приводит к тому, что количественные соотношения содержаний рассеянных элементов в различных породах, даже при кровном родстве их, оказываются достаточно различными.

Таким образом, качественное однообразие, при количественном разнообразии составляет сущность наблюдаемого в природе первично-конституционального рассеяния в различных участках литосферы.

Указанное обстоятельство позволило А.Е.Ферсману /3/ еще в 20-30-х годах настоящего столетия выдвинуть представление о геохимических ассоциациях элементов, как о таких их естественных сообществах, которые исторически и закономерно сложились на тех или иных участках земной коры. В последующем, используя представления об ассоциациях, А.Е.Ферсманом были введены понятия о геохимических провинциях и эпохах.

Остановимся кратко на истории развития идей, приведших к указанным представлениям.

Одной из первых плодотворных идей явилось понятие о петрографических провинциях, выдвинутое еще в конце прошлого века.

С тех пор под петрографическими провинциями понимаются области, в пределах которых развиты приблизительно одновозрастные магматические горные породы, обладающие при всем своем разнообразии четко выраженными общими качествами минералогического, химического и т.п. порядков.

Предполагают, что изверженные / интрузивные и эффузивные / породы, составляющие провинцию, произошли из одной общей гипотетической родоначальной магмы, от которой и унаследовали свои общие черты; в связи с этим породы провинции имеют комагматическими и говорят о кровном родстве между ними. Внутри провинций, согласно Т.Барту /4/, выделяют абсолютные и сериальные минералогические и химические особенности членов ее, которые характеризуются определенными колебаниями количеств одного и более составляющих, причем, эти колебания могут иметь одинаковое или противоположное направления. Эти особенности и отличают породы одной провинции от подобных же пород другой.

К настоящему времени в природе установлен целый ряд разнообразных петрографических провинций, среди которых наиболее крупными являются атлантическая и тихоокеанская. Породы первой провинции характеризуются преобладанием, в основном, щелочных серий пород, тогда как породы второй провинции представлены щелочно-кальциевыми и кальциевыми сериями. Так как породы атлантической провинции приурочены к неорогенным областям, характеризующимся вертикальными перемещениями, предполагается, что они произошли путем простой фракционной кристаллизации "чистой" глубинной первичной магмы. Породы

тихоокеанской провинции приурочены к складчатым геосинклинальным областям и предполагают, что здесь магма была "загрязнена" веществом пород осадочных серий. Таким образом, существует зависимость состава пород провинции от геологических условий их образования. Следовательно, в сходных геологических условиях необходимо ожидать и сходства пород, вне зависимости от географического расположения.

В более мелком плане выделяют собственно атлантическую подпровинцию, с преобладанием среди щелочей натрия, и средиземноморскую, с преобладанием калия, в частности, в виде его минерала-лейцита.

Известны и более мелкие подразделения подобного же рода. Следует обратить внимание, что рассматриваемые свойства горных пород могут проявляться не только в пространстве, но и во времени, позволяя говорить о петрографических эпохах.

Аналогичные представления в области рудообразования были выдвинуты Спэрром и Линдгреном /5/, где первым было введено понятие о металлогенических провинциях, а вторым о металлогенических эпохах /см. так же статью Ю.А.Билибина /6//. В настоящее время под металлогенической провинцией понимают область, рудные месторождения которой обладают общими характерными чертами, позволяющими предполагать их родство как в смысле происхождения из единых источников, так и связи с определенными геологическими процессами. По Линдгрено, примерами металлогенических провинций могут служить участки распространения юрских железных руд в Англии и Франции, Калифорния с ее золото-кварцевыми жилами и др., а более крупными подразделениями, включающими ряд провинций - металлогенический район Кордильер обеих Америк, примечательный месторождениями золота и серебра, стоящими в связи с единой магматической деятельностью, и Южно-африканское плато с выдающимися запасами хрома, платины и алмазов. Долина Миссисипи с её месторождениями свинца и цинка, приуроченными к палеозойским породам, также причисляется Линдгреном к металлогеническим районам.

В Советском Союзе классическими примерами металлогенических провинций и районов могут служить Рудный Алтай и Забайкалье с их полиметаллами, Урал с медью, железом, золотом, платиной, хромом и алмазами, Крайний Северо-Восток с оловом и золотом, Якутия с алмазами и многие другие территории.

Исторический подход к исследованию рудообразования во времени позволяет наметить в прошлом земли ряд, так называемых, металлогенических эпох, понимая под этим отрезки геологического времени, характеризующиеся интенсивным развитием рудообразования, в связи с локализованной тектоно-магматической деятельностью, или особыми условиями накопления и образования осадков. Металлогенические эпохи, в общем, коротки и преходящи, однако же иногда могут растягиваться на периоды и эры. Крайне примечательной металлогенической эпохой является, например, докембрийская, в течение которой во многих местах на земле /Сев.Америка, СССР, Южная Америка и др./ образовались мощные отложения железистых кварцитов; варисская и герцинская, давшие,

в частности, Рудный Алтай и Урал; верхне-меловая, в течение которой возникли оловянные и золотые месторождения Крайнего Северо-Востока СССР и др.

Все приведенные и другие, аналогичные им, материалы свидетельствуют, что распределение пород и рудных месторождений в земной коре, а, следовательно, и химических элементов, входящих в состав указанных геологических образований, далеко от однообразия как в пространстве, так и во времени. Однако в этом разнообразии могут быть подмечены некоторые общие геохимические черты, позволяющие объединить в родственные группы образования, при менее детальном подходе представляющиеся трудно сопоставимыми.

Подобное объединение может быть произведено на основе введенного А.Е.Ферсманом представления о геохимических провинциях.

Согласно А.Е.Ферсману /3/, под геохимическими провинциями надлежит понимать области земной коры, характеризующиеся определенностью и своеобразием свойственных этим областям естественно сложившихся геохимических ассоциаций элементов. При этом определенность и своеобразие геохимических ассоциаций в провинциях, как это подчеркивает сам автор, необходимо устанавливать и определять на фоне закона о всеобщем распространении элементов.

Подобное определение геохимической провинции автоматически предполагает вовлечение в рассмотрение всей совокупности химических элементов — больших и малых — принимающих участие в строении изверженных пород и рудных месторождений, а не только определенных элементов и групп их по признаку принадлежности к числу наиболее обычных минералообразователей, которыми, по существу, и оцерируют при выделении петрографических и металлогенических провинций. Таким образом, понятие геохимической провинции оказывается более широким и объемлющим, чем представления о петрографических и металлогенических провинциях, т.к. оно включает в себя особенности, свойственные этим двум частным явлениям. Аналогичным образом, понятие о геохимических эпохах является более общим и поглощающим частные определения петрографических и металлогенических эпох.

Должно заметить, что и в настоящее время трудности и известные неопределенности в установлении геохимических провинций /особенно при проведении границ их/, о чем предупреждал А.Е.Ферсман, еще в значительной степени не преодолены и в каждом отдельном случае требуется накопить много фактических материалов, чтобы достичь удовлетворительных конечных результатов. Тем не менее, некоторые территории являющиеся геохимическими провинциями, в настоящее время наметились. Это области альпийской складчатости, Фенно-скандинавский щит, Уральский хребет, Крайний Северо-Восток СССР и др. Характерно, что масштабы провинций расширяются, если они приурочиваются к глубинным разломам. Так, оловянный Малаккский пояс протягивается на 3000 км, Южно-Африканский платиновый на 1500 км, Американский серебро-свинцовый на 8000 км и т.п. С другой стороны, в пределах провинций и поясов, по нисходящей линии, выделяются родственные семейства пород, отличающиеся более частными особенностями. Так Хибинская зона внутри Фенноскандии выделяется сериями извер-

женных пород, богатых в минералогическом отношении апатитом, нефелином, редкими минералами, а в геохимическом — натрием, фосфором, аксессуарными элементами TR. Северо-Уральские изверженные породы внутри Уральской провинции выделяются повышенными содержаниями никеля и магния; отдельные гранитоиды Рудного Алтая обладают повышенными кларками свинца, цинка, серебра, меди; некоторые кавказские — стронция; оловоносные гранитоиды Крайнего Северо-Востока обогащены аксессуарным бериллием; известны породы обогащенные селеном, оловом.

Возникновение естественных геохимических ассоциаций, составляющих характерную особенность геохимических провинций, А.Е.Ферсманом рассматривается как результат первичного, еще космического распределения элементов в земле, усложненный явлениями последующей геохимической миграции. При этом под геохимической миграцией понимается комплекс процессов, приводящих к перемещению химических элементов в пространстве и времени и в связи с этим — изменению концентраций /соотношению концентраций/ на данном участке. В соответствии с этим понятие естественной геохимической ассоциации есть не только пространственное /геохимические провинции/, но и временное /геохимические эпохи/.

Основной движущей силой, обуславливающей миграцию элементов, является стремление атомов прийти в состояние, соответствующее минимуму запаса свободной энергии. В то же время конкретные пути и направления миграции определяются рядом факторов, внутренних и внешних относительно самих атомов.

Среди внутренних факторов миграции А.Е.Ферсман выделяет, в качестве первостепенных, свойства атомов вещества, обуславливающие:

I. Способность атомов к созданию кристаллохимических решеток. Очевидно, что, чем выше склонность вещества создавать подобные решетки, или изо-морфно входить в них, тем меньше его способность к миграции в рассматриваемых условиях и — наоборот. Нет сомнений, что одинаковые кристаллохимические качества элементов определяют собой и одинаковость миграционных свойств.

С этой точки зрения решающая роль, по Ферсману, приписывается атомным и ионным радиусам элементов — первым в части элементов, создающих в природе самородные соединения и некоторые сульфиды типа сфалерита и вторым — в части элементов, создающих остальные классы минерального царства. Необходимо подчеркнуть, что эти взгляды А.Е.Ферсмана не потеряли своего значения до самого последнего времени.

По сходности атомных радиусов /I,24—I,44⁰А / А.Е.Ферсман выделяет большую группу элементов включающую в себя Fe, Ni, Co, Cu, платиноиды /Ru, Rh, Os, Ir, Pd, Pt /, молибден и рений, золото и серебро. Эти элементы способны создавать атомные решетки, совместно находятся в самородных соединениях и, следовательно, имеют сходные миграционные способности.

Несравненно большее значение имеют ионные радиусы, поскольку именно они в значительной мере определяют способность вещества строить ионные решетки, более распространенные в природе нежели атомные. В этом отношении

А.Е.Ферсманом выделяются три группы элементов:

а/ создающих ионы с радиусами средних размеров /0,40-1,50^oА/; сюда должно быть отнесено подавляющее число элементов. Все они характеризуются повышенной склонностью к построению решеток или к вхождению в них.

б/ создающих ионы малых размеров /0,15-0,35^oА/, а именно C^{+4} , N^{+5} , B^{+3} , Be^{+2} , S^{+6} , Se^{+6} , P^{+5} , Cr^{+6} .

в/ создающих ионы больших размеров /1,60-2,20^oА/, а именно Ne^0 , Ca^{+1} , S^{-2} , Cl^{-1} , Se^{-2} , Ag^0 , $Bг^{-1}$, $Kг^0$, Te^{-2} , Xe^0 , I^{-1} .

Характерной чертой ионов этих двух групп - слишком малых и слишком больших - является их меньшая способность строить или входить в ионные постройки, в большинстве своем обладающие средними размерами и простекающая отсюда повышенная склонность к миграции.

Как показали дальнейшие исследования, большое значение для миграции имеет так называемый ионный потенциал, величина которого прямо пропорциональна заряду иона и обратно пропорциональна его радиусу.

1489
46780
Значимость ионного потенциала ярко проявляется при миграции в водной среде и будет рассмотрена ниже в главе, касающейся формирования первичных ореолов рассеяния постмагматических месторождений. Здесь, вкратце, заметим, что катионы со значениями ионных потенциалов до + 3 /напр. Na, K и др./ являются устойчивыми в растворах и, следовательно, хорошими диффундантами в водной среде. Подобными же, устойчивыми в водных растворах и способными к диффузии, оказываются катионы с ионными потенциалами выше + /10-12/ и до +33 /напр. В, С и др./. Все они легко взаимодействуют с водой, образуя сложные анионы, в виде которых и ведут устойчивое существование.

1489
46780
Другое дело катионы с промежуточными значениями ионных потенциалов /от + 3 до + /10-12//, как, например, трехвалентные Fe, Al. Они легко гидролизуются /тем легче чем выше ионный потенциал/, выпадают из раствора и, таким образом, оказываются неспособными к диффузии в виде истинных растворов.

2. Способность атомов к химическим взаимодействиям для целей миграции надо оценивать в свете окружения, в котором находится элемент, а также его способности вступать в различные соединения, в том числе летучие. В частности, при рассмотрении миграции тяжелых металлов необходимо учитывать соотношение в расплаве кислорода и серы. Если кислорода достаточно, тяжелые металлы предпочтительнее вступают в соединение с ним, чем с серой, поскольку при образовании окислов потеря внутренней энергии будет большая, а, следовательно, будет удовлетворяться одно из требований химии. Однако в этом случае миграция тяжелых элементов будет затруднена, поскольку окислы их мало летучи. Наоборот, при недостатке кислорода вероятнее образование более летучих сульфидов, а вместе с этим и более сильная миграция. В то же время соединение углерода, инертного в чистом виде, с кислородом или водородом, будет в сильной степени облегчать его



миграцию, равно как и возможность образования четырехфтористого кремния, обусловит высокую подвижность этого элемента, в чистом виде столь же инертного, как и углерод.

3. Физические особенности, /температуры плавления и кипения, растворимости, плотность и т.п. / так же должны быть приняты во внимание. Из них больше всего влияют на миграцию температурные и плотностные особенности. Температурные показатели позволяют утверждать, что такие группы элементов, как летучие газы с их отрицательными температурами плавления и кипения, а также металлоиды P, Cl, S, F, J, дающие начало легко летучим соединениям и летучие сами по себе металлы Ga, In, Tl, Hg, Bi в условиях нагретых магм способны претерпевать значительные перемещения. Наоборот, труднолетучие тяжелые металлы /группы железа, платины, вольфрам, золото, серебро и др. / в силу только температурных условий неспособны к заметной миграции. Аналогичным образом разные плотностные характеристики приводят к различным миграционным способностям. Так, легкие, с большими атомными объемами элементы - H, He, Li, Na, K - более подвижны, нежели атомы с малыми атомными объемами типа платиноидов, тяжелых металлов и т.п.

К внешним факторам миграции для магматических условий А.Е.Ферсман относит следующие /важнейшие/:

1. Характер остывания и затвердевания магмы. Под этим понимается общий ход эволюции магмы, доля участия в нем различных процессов - фракционной кристаллизации, ликвации, гравитационной дифференциации, эвтектического застывания - продолжительности перечисленных этапов, стадийность в развитии магматического очага и т.п. Огромное значение при этом будет иметь характер изменений температуры и давления в поле миграции. В соответствии со всем ходом остывания и кристаллизации магмы, миграция элементов или может осуществиться до закономерного предела в согласии с их особенностями, или не произойти вовсе.

Первое будет иметь место при медленном остывании в спокойных условиях, при дифференциации до конца, с образованием конечных продуктов в виде подвижных пегматогенных расплавов и гидротерм, т.е. при одностадийном развитии интрузии; второе произойдет при быстром остывании, при последующем перемешивании отдифференцировавшихся частей, при пульсационном многостадийном внедрении магмы. Как уже указывалось, температура и давление, сами по себе, способны резко влиять на миграцию элементов. Действительно, высокая температура будет способствовать повышению упругости паров в магме и тем самым миграция тех или иных веществ в паробразном состоянии, однако же высокое давление способно нейтрализовать упомянутый эффект. А.Е.Ферсманом отмечаются, что в ряде случаев одностороннее давление /стресс/ благоприятствует повышению растворимости веществ в направлении стресса во много раз против обычной, в результате чего может произойти местная миграция вещества, с его перегруппировкой вкост направлении одностороннего давления.

2. Тектонико-геологическая обстановка в поле миграции. В этом отношении особое внимание будут иметь разломы и тектонические зоны глубокого заложения, непосредственно соединяющие глубинные оболочки с приповерхностными и поверхностными участками. В этих условиях необходимо ожидать особенно интенсивной миграции из глубины к поверхности тяжелых металлов и их спутников, что и подтверждено наблюдениями.

3. Диффузионные особенности твердых пород, характер и степень обводненности магмы и вмещающих пород в поле миграции, гравитационные и иные физические /электрические, магнитные/ воздействия на застывающую магму и т.п. — всё должно оказывать свое влияние на процессы перемещения как отдельных элементов, так и их групп. В частности, в настоящее время доказано, что коэффициенты диффузии непосредственно через твердые образования, особенно в присутствии некоторых веществ играющих роль катализаторов, оказываются весьма заметными уже при температурах в первые сотни градусов; обильная влагонасыщенность при облегченной циркуляции в условиях повышенных температур и давлений в месте зарождения минерализованных растворов может явиться весьма действенным фактором, способствующим перемещению элементов, легко переходящих в водные растворы; такую же роль будут играть газовые обособления. Наконец, направленные физические поля также могут оказать специфическое влияние на перемещения определенных /например, особенно тяжелых или полярно-заряженных/ частиц.

Все перечисленные внутренние и внешние факторы миграции элементов, их различные взаимопроникновения и масштабы проявления, притом трудно определяемые в каждом отдельном случае, не могут не привести, в конечном итоге, ко всему сложному многообразию распределения элементов в изверженных горных породах. Однако если еще можно предугадать миграционное поведение данного элемента /или группы сходных элементов в заданных условиях, или уточнить те или иные детали поведения элементов/, то предварительно установить закономерности поведения всей их совокупности в весьма проблематично известных условиях магматического очага, пока не представляется возможным. Иными словами, причины явлений приводящих к миграции элементов, а вместе с тем и к образованию геохимических ассоциаций, настолько многочисленны и разнообразны и настолько не укладываются в рамки каких-либо очевидных и простых физико-химических закономерностей, что ни одно из них в отдельности, ни все вместе не могут быть приняты как база для теоретических построений.

Поэтому, в основу наших современных представлений о совместном нахождении элементов в природе кладется, в первую очередь, эмпирический материал. В этом направлении данные накапливаются уже издавна; достаточно напомнить о ставших привычными, но теоретически слабо объясненных природных сочетаниях свинца, цинка и серебра, серебра и золота, хрома и платины, теллура и золота и т.п.

В соответствии с подобной постановкой вопроса, А.Е.Ферсман рассматривая процесс остывания единой магмы и ее изменение во времени, хорошо уста-

новленные полевыми наблюдениями над продуктами дифференциации сложных интрузий, приходит к ряду выводов.

Так процесс охлаждения и соответствующая ему дифференциация единого магматического очага, по его мнению, выражается, прежде всего, в обособлении ультраосновной составляющей магмы, с последующей эволюцией, через все более и более кислые дифференциаты, до ультра-кислых образований, с пегматитами и гидротермами на завершающих этапах. Поэтому представляется возможным выделить две основные геохимические ассоциации элементов:

а/ ассоциацию элементов отходящих в ультрабазиты: С, Р, S, Cl, Ti, V, As, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, платиноиды, Re.

б/ ассоциацию элементов, отходящих в ультракислые породы: Н, Li, Be, В, F, (P), (Cl), (Ti), Rb, Cs, Y, TR, Zr, Nb, Ta, Sn, Mo, W, Hf, Au, Th, U, так же Sr, Ba.

Заметим, что здесь приведены лишь "малые" элементы и, кроме того, выделяющиеся своими содержаниями /кстати сказать, по разному в разных интрузиях/ над их средними земными кларками.

Таким образом, в результате магматической дифференциации единой силикатной магмы возникает первое и основное разделение групп элементов, происходящее, очевидно, сообразно совокупным физико-химическим свойствам элементов и в соответствии с осредненными внешними условиями.

Что касается распределения акцессорных элементов по промежуточным дифференциатам, то здесь полезными являются данные, приведенные в книге Мэсона /7/, по результатам исследований Скиргардской интрузии в Гренландии /см. табл. № I/.

Из этой таблицы можно сделать следующие практические выводы относительно поведения исследованных элементов-акцессориев:

а/ содержания элементов Rb, Ba, Zr, Li, Y, La - значительно повышаются в ряду базиты-гранитоиды;

б/ содержания элементов Cr, V, Ni, Co, Sc, наоборот, падают в указанном направлении;

в/ содержания Sr, Ga /и, добавим Вг, J / практически одинаковы во всех дифференциатах /"сквозные" элементы, характерные для всего семейства/.

г/ медь склонна обогащать породы средней основности.

Приведенные основные закономерности могут быть дополнены рядом эмпирически установленных соотношений. Так еще в 1909 году, на основе обобщения опыта в различных прикладных и теоретических областях В.И.Вернадский /8/ дал несколько изоморфных рядов, в известной мере отображающих парагенезис элементов в природе. Применительно к термодинамическим условиям, характерным для области магматации, эти ряды следующие:

- I/ Al, Fe, Cr, Mn, Ti, В, (Y), (Cl), V. 2/ Br, I, Cl, F, OH. 3/ Bi, Sb, As;
 4/ NH₄, K, Na, Cs, Rb, Tl, Li, H. 5/ Mg, Mn, Fe, Zn, Be(?), Cd, Cu, Ni, Co.
 6/ Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Tl. 7/ Pt, Fe, Pd, Ir, Rh, Cu. 8/ Os, Ru, Rh, Ir.
 9/ Ca, Mg, Mn. 10/ Si, Ti, Zr, Sn, Mn, Th(?). 11/ Nb, Ta. 12/ S, Se, Te.

Таблица № I

№ № п/п	Эле- мент	Лито- сфера в сред- нем	Породы Скиргардской интрузии:							
			Началь- ная магма	Габбро- пикрит и эврит /ранние/	Оливи- новое габбро	Безоли- виновое габбро	Ферро-Габбро		Геден- бергит- товый гранофир	Грано- фир. /Позд- ний/
1.	Rb	$3,1 \cdot 10^{-2}$	-	-	-	-	-	-	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
2.	Sr	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
3.	Ba	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
4.	Zr	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$
5.	Cr	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	-	-	-	-	$3,0 \cdot 10^{-4}$
6.	V	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-	-	$1,2 \cdot 10^{-3}$
7.	Ni	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	-	-	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
8.	Cu	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
9.	Li	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
10.	Y	$2,8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	$1,25 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
11.	Co	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
12.	La	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	-	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
13.	Ga	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
14.	Sc	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	-	-	-

Процентное
соотношение
пород

100,0

65,0

14,0

10,0

7,5

2,5

0,5

0,5

В настоящее время эти ряды могут быть дополнены рядами истинно парагенетических элементов, связанных узлами естественной радиоактивности. Согласно общеизвестным данным, твердо устанавливаются следующие ряды:

$K^{40} \rightarrow (Ca^{40}, Ar^{40})$; $Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$; $La^{138} \rightarrow (Ce^{138}, Ba^{138})$; $Sm^{147} \rightarrow Nd^{143}$;
 $La^{176} \rightarrow (Hf^{176}, Yb^{176})$; $U^{238, 235} \rightarrow (He^4, Pb^{206}, Pb^{207})$; $Th^{232} \rightarrow (He^4, Pb^{208})$

и некоторые другие. Наконец, могут быть намечены группы элементов, встречающихся совместно, то по причинам химической близости, как, например, группа редких земель и Th; Zn-Cd; Au-Ag; Cu-Ag; Ni-Co; Ta-Nb и др., то в силу близости ионных радиусов и повышенной склонности к камуфляжу со стороны малого элемента, как, например, Ga-Al; K-(Rb, Cs(?), Tl); Zr-Hf; Mo-Re и др.

В то же время такие сочетания как W и Hg; Be и Sb примечательны своей антагонистичностью.

Необходимо с особенной силой подчеркнуть, что все вышеприведенное, несмотря на безусловный интерес, тем не менее касается только качественной стороны вопроса формирования геохимических ассоциаций элементов в изверженных породах, скорее лишь иллюстрирует детали закона всеобщего рассеяния элементов и не имеет главного значения при решении прикладных задач. Решающую роль здесь играет количественная сторона.

В этом отношении установлено, что во всех случаях, казалось бы очень твердых качественных закономерностей совместного нахождения элементов, количественные соотношения содержаний их весьма широко варьируют даже для однотипных пород, в зависимости от целого ряда условий. Так для семейств радиогенных элементов эти соотношения меняются от нуля до максимальных, определяемых законами распада, завися прежде всего от времени, в течение которого происходил распад. Для изоморфных элементов отношения содержаний их в различных гранитоидах колеблются для пар: Ga:Al до 10^4 раз; Hf:Zr - до 15 раз; Re:Mo - до 100 раз; $Rb_2O : Tl_2O$ - от 30 до 650 раз и т.д. Аналогичная картина наблюдается и для пар любых элементов. К. Райкама указывает на закономерные региональные изменения содержаний отдельных элементов в аналогичных породах разного возраста, в частности на повышение содержаний Li, Rb, Cs, Be, Ba, TR, Ta и Pb и на уменьшение содержаний Y в более молодых образованиях по сравнению с докембрийскими. В то же самое время эти количественные особенности сохраняют свои средние значения в пределах распространения коматических пород.

Таким образом мы приходим к заключению, что количественные особенности качественно универсальных геохимических ассоциаций элементов, отображающие, по-видимому, важнейшие геохимические черты родоначальных магм, являются основными геохимическими показателями изверженных пород и на этом основании могут служить для однозначной характеристики исследуемого в них распределения элементов, а вместе с этим и самих пород.

Наряду с этим интерес представляет рассмотрение видов и форм существования элементов при нормальном оиогенетичном рассеянии.

В настоящее время можно считать установленным, что большинству сингенетично рассеянных элементов в геологических образованиях особенно свойственно безминеральное существование в формах: изоморфных и неизоморфных твердых растворов / непосредственно в минеральном веществе пород /; жидких растворов / в волосно-пленочных и молекулярно-пленочных внутрипородных водах растворов во внутриминеральных жидких и газообразных включениях; квази-газообразного рассеяния. Для некоторых элементов, в той или иной мере, характерно существование и в виде собственных минералов / для Fe, Ti, Ni, Cu, S, Cr, P, Zr др. /. Пути возникновения рассеяния, очевидно, являются: вхождение элементов примесей в решетку образующихся кристаллов в силу законов изоморфизма; механический захват примесей породообразующими минералами в момент их становления; подобный же захват магматической жидкости и газов случайными внутриминеральными полостями; возникновение соединений включения; проникновение минерализованных магматических вод по интерстиционным волосным и прочим трещинам в образующиеся минералы и в породу в целом, основанное на прилипанию /смазыванию/; наследственное сохранение квази-газообразного состояния для некоторого количества масс всех элементов в образующейся из магмы породе; и, наконец, образование собственных минералов при достаточной концентрации реагирующих веществ и способности их к кристаллохимическим построениям. В результате в породах и возникает рассеяние элементов, которое является не только сингенетичным, но и органически связанным с изверженной породой, т.е. первично-конституциональным. Есть опытные данные, позволяющие считать, что виды и формы существования элементов-примесей в изверженных породах являются характерными особенностями этих пород и сохраняются, по крайней мере, во всех пределах их распространения.

Таким образом, как качественно-количественные характеристики первично-конституционального рассеяния элементов в изверженных породах, так и виды и формы существования элементов в рассеянии, могут являться и опыт подтверждает это — своеобразными геохимическими особенностями. Эти особенности оказываются практически неизменными в пределах развития данной породы и сохраняют общие семейные черты во всех породах, комагматичных данным, и, одновременно, достаточно индивидуальны при сравнении с односторонними породами других территорий. В соответствии с этим, первично-конституциональное рассеяние в изверженных горных породах, вкупе с другими характеристиками /минералогической, кристаллооптической и петрохимической/, может быть использовано для следующих целей:

- а/ выявления геохимических провинций, как областей земной коры, характеризующихся определенностью и своеобразием свойственных этим областям естественных геохимических ассоциаций элементов;
- б/ установления комагматичности различных пород и объединения их в родственные семейства;
- в/ идентификации породы по ее разрозненным выходам;

г/ установление различий между породами, одинаковыми по внешним признакам и классическим характеристикам, но различным по происхождению или возрасту.

Весьма заманчивым, однако находящимся в стадии первоначального разрешения, является вопрос о возможности привлечения первично-конституционального рассеяния в изверженных породах к оценке их перспективной рудоносности. Практическую значимость подобных оценок, если только они достаточно вероятны, трудно отвергнуть особенно на этапах мелкомасштабных поисков, имея в виду предварительную разработку интрузий на перспективные и неперспективные в рудном отношении.

В указанном вопросе надлежит рассмотреть две возможности: косвенной оценки, основанной на сопоставлении и сравнении геохимических особенностей заведомо рудоносной и исследуемой изверженной породы, и прямой оценки, основанной на изучении в породах в целом, или в отдельных породообразующих минералах, содержания того элемента, в отношении перспективности месторождений которого и проводятся исследования.

По вопросу косвенной оценки трудно подыскать возражения в смысле её принципиальной возможности. Действительно, если в оплодотворяемом районе имеется несколько интрузивных массивов и с некоторыми из них заведомо связано то или иное оруденение, естественно предположить, что массивы геохимически родственные заведомо вмещающим месторождения, /как происшедшие из одинаковых или подобных магм/ скорее могут быть рудоносными, нежели массивы геохимически чуждые. Однако только геохимическое подобие, конечно, не будет являться свидетельством достоверности наличия месторождений, прежде всего по тем причинам, что кроме потенциальной геохимической возможности рудоотделения должны иметься созданные заранее, или возникшие в самом процессе дифференциации магмы, соответствующие условия и полости и каналы рудоотложения. Образование же полостей и каналов рудоотложения зависит от геолого-литологических и структурно-тектонических, но отнюдь не геохимических, факторов. Именно подобного рода косвенную оценку рудоносности интрузий имели в виду В.И.Вернадский, а затем А.Е.Ферсман, когда выдвигали идею о типических геохимических ассоциациях и о возможностях по составу рассеянных элементов предугадать металлы, отщепившиеся в концентрации — месторождения.

Вопрос о прямой оценке /в геохимическом смысле/ также, по-видимому, решается положительно, но требует предварительного рассмотрения. На самом деле, первоначально может возникнуть соображение о том, что наблюдаемая бедность породы каким-либо элементом может явиться следствием ухода этого элемента из родоначальной магмы в месторождения. Однако, это соображение не выдерживает критики при использовании количественных подсчетов. Действительно, во всех случаях, когда представляется возможность подсчета массы металла сконцентрированного в его месторождении и оценки этой массы в долях массы того же металла, рассеянного в интрузии, с которой геологически связывается генезис рассматриваемого месторождения, то получаемые цифры оказы-

ваются крайне небольшими /максимально единицы %/, соизмеримыми с погрешностями, неизбежными при подсчете запасов. Это естественное наблюдение, очевидно, говорит о том, что даже при отщеплении рудной массы путем ликвации, последняя осуществляется далеко неполно. Другими словами, степень растворимости рудного материала в силикатной составляющей массива и масса последнего оказываются достаточными, чтобы унести с собой подавляющую часть металлической нагрузки исходного расплава. Тем самым становится очевидным, что попытка истолковать сравнительную бедность исследуемой интрузии каким-либо металлическим элементом, как свидетельство отщепления его в месторождения, не имеет под собой основания. Наоборот, подобное обстоятельство должно рассматриваться как показатель истинной бедности родоначальной магмы данным элементом.

При таком выводе позволительно допустить, что высокий кларк породы по искомому элементу свидетельствует об особенном богатстве им родоначальной магмы, которая благодаря этому и смогла легче, при стачении особых геолого-тектонических обстоятельств, отщепить металлы в месторождения.

Таким образом и прямая геохимическая оценка перспективной рудоносности интрузии по признаку высокого кларка искомого металла в породах интрузии представляется нам вполне обоснованной.

Очевидно, что выводы о показательности высокого кларка искомого металла в породах имеют значение, прежде всего для тех случаев, когда генетическое родство пород и руд не вызывает сомнений и, особенно, когда самые руды представляют собой прямую противоположность сингенетичному рассеянию, а именно — сингенетичную концентрацию.

Поэтому сказанное, в первую очередь, может быть распространено на комплексы пород способных создавать собственно магматические /эвмагматические, по терминологии С.А.Обручева / и близкие к ним инъекционные месторождения. Таковыми, в частности, являются интрузии базитов и гипербазитов, вмещающие связанные с ними сегрегационные и ликвационные месторождения медно-никелевых руд, хотя известны и другие комплексы пород и месторождений рассматриваемого класса / например, дуниты-хромиты-платина; габбро-нориты-титаномагнетиты, сиениты-апатиты-магнетиты и др./ . Во всех этих случаях вполне правомерно ожидать, что материнская порода будет действительно выделяться повышенными кларками искомого элемента, притом в тем большей степени, чем богаче была исходная магма и чем, следовательно, более легко она могла выделить материал на создание месторождения. Очевидно, что норма кларков характерная для заведомо безрудных пород /магм/ должна быть установлена статистически опытным путем и, конечно, будет зависеть от региона.

С большим трудом только что сделанные выводы могут быть распространены на комплекс гранитоидных пород и связанных с ними постмагматических месторождений. Главным препятствием здесь является отсутствие достаточно убедительных доказательств прямой генетической связи между этими двумя типами геологических образований. Особенно часто эти доказательства отсутствуют

для гидротермальных месторождений золота, полиметаллов и т.п. или оказываются затуманенными рядом побочных обстоятельств, например, для некоторых скарновых месторождений. Неясное положение в этой области усугубляется еще недостаточным количеством исследований, принесших неоспоримо достоверные результаты; поэтому высказанные ниже положения является в значительной мере дискуссионными. Тем не менее, представляется достаточно вероятным предположить, что для случаев неоспоримой когенетичности интрузий и сопутствующих им постмагматических месторождений /число которых может быть достаточно велико/ олова, бора, вольфрама, молибдена и некоторых других металлов родоначальные магмы содержали в себе повышенные количества металла по сравнению с заведомо нерудоносными.

Таким образом, мы и приходим к выводу, что для когенетичных интрузий и постмагматических месторождений, принимая во внимание относительную незначительность массы металла, отщепляемой родоначальной магмой в месторождения, кларки породы по искомым элементам должны быть повышенными. В случаях отсутствия неоспоримых доказательств когенетичности вопрос остается открытым.

Заметим, что указанный вывод является справедливым только при наличии достоверных сведений относительно небольших колебаний содержаний воды в магмах по Барту /4/ -/3-8%/и таких же небольших отношений содержаний металлических элементов в магматических растворах в сравнении с содержаниями их в породах /по данным из разных источников, эти отношения составляют первые единицы раз/.

Кроме того, необходимо подчеркнуть, что сколь бы хорошими не были геохимические показатели исследуемой интрузии, только благоприятное сочетание геолого-тектонических /в широком смысле слова/ условий в момент становления интрузии и непосредственно после него, было определяющим в процессе отщепления постмагматитов и образования из них месторождений.

В заключение остановимся на теоретических обоснованиях рациональной методики исследования первично-конституционального рассеяния в изверженных породах.

В этом отношении взятие на анализ средних проб породы представляется наиболее привлекательным по своей простоте. Однако, петрологический подход к вопросу заставляет внести существенно важные поправки.

Действительно, если бы все изверженные породы являлись одинаковыми по петролого-минералогическому составу и условиям образования, а минеральный состав их обладал бы одинаковыми физико-химическими свойствами, взятие средней пробы породы было бы оправданным. Однако, петрологические и минералогические данные говорят об обратном. Так, согласно принятым взглядам, различные изверженные породы возникают путем дифференциальной кристаллизации единой исходной магмы, что, однако, следует понимать не в универсальном, а региональном смысле. При этом, как известно, процесс выпадения минералов протекает, подчиняясь определенному принципу, а именно, - из железомagneзиальных силикатов вначале выпадают ортосиликаты, затем метасиликаты и заверша-

ет ряд биотит. Из алюмосиликатов выпадают вначале кальциевые, затем кальциево-натриево-калиевые, наконец, натриево-калиевые минералы. Последним выпадает избыток кремнекислоты в виде кварца. Таким образом, характер образующихся пород эволюционирует от ультраосновных через основные и кислые к ультракислым. В этой общей закономерной петрологической схеме также имеет свое место образование и отщепление рудообразующего материала. Так, например, руды эвмагматических /сегрегационных и ликвидационных/ сульфидных месторождений $Cu-Ni$ образуются на первых этапах петрологического процесса / до или во время начальной стадии образования железо-магнезиальных силикатов/, а рудообразующие постмагматиты - на завершающей стадии.

Общая схема эволюции пород, по Т.Барту /4/, приведена на рис.2.

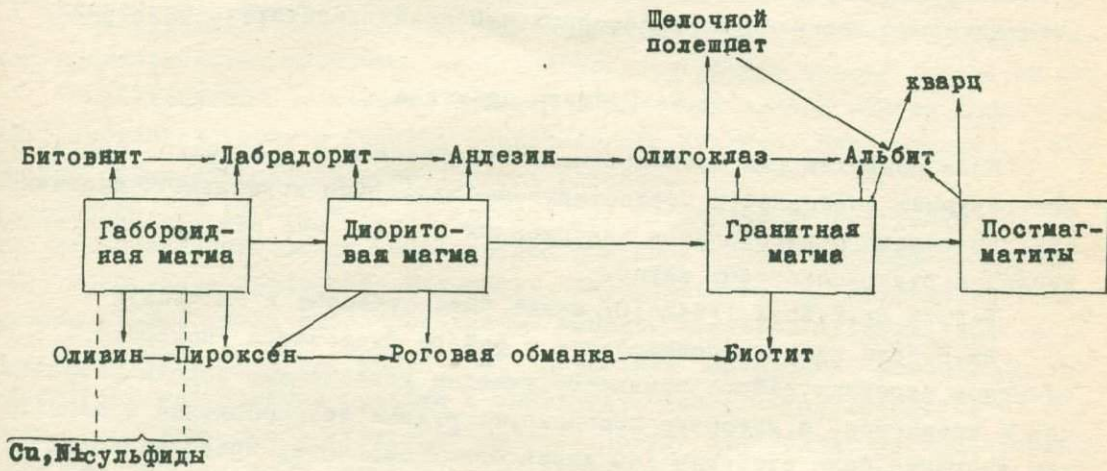


Рис.2

Приведенная схема позволяет сделать заключение, что исследования соответствующих мономинеральных фракций может дать более показательные материалы, если конечно, отобраны нужные минералы. Так рекомендуется количественно изучать собственно рудные минералы при условии, что образование их в магматических породах допускается геохимическими особенностями искоемых элементов / сульфиды меди и никеля, минералы железа и титана, хромит, апатит/. Однако, в общем случае, следует рассчитывать на безминеральные примеси и тогда отбираемые на анализ минералы должны отвечать определенным требованиям, а именно:

- а/ выпадать из магмы в период наибольшего обогащения ее рудообразующими элементами;
- б/ обладать основным составом и структурой, благоприятствующими на сыщению их этими же элементами.

В конкретных случаях эти общие требования должны иметь специфическое преломление. Так при определениях никеля в гипербазитах и базитах рекомендуется отбирать на анализ оливин и магниевые пироксены; меди — железомagneзиевые пироксены; хрома — шпинели и пироксены и т.п. В то же время при исследованиях кислых пород на всю гамму рудообразующих элементов наиболее подходящим универсальным минералом будет являться биотит, а также самый поздний кварц.

В ряде случаев на анализ могут отбираться другие минералы. Так, при исследованиях на свинец полезен калиевый полевой шпат, а на ниобий, тантал, и особенно редкие земли — сфен. По данным Ранкама и Сахама /9/, содержания редких элементов в сфене могут служить как бы мерой объемного распределения их в исследуемой породе в целом. Некоторые весьма рекомендуют исследования металлических примесей в акцессорных минералах /апатитах, цирконах/.

Б. Примеры практики

Ниже приведен ряд примеров из отечественной и зарубежной практики, иллюстрирующих возможности предоставляемые изучением нормального первично-конституционального рассеяния в изверженных породах для решения общегеологических и рудно-поисковых задач.

Работа Дж.М.Брея, 1942/10/, может быть отнесена к их числу.

Дж.М.Брей провел исследования в районе Джемстауна /Колорадо/. В геологическом строении района принимают участие изверженные породы различных типов и возрастов, с которыми ассоциируют рудные месторождения и пегматиты. Для изучения были отобраны 140 характерных образцов, представлявших главные породы района: три типа докембрийских гранитов, гранит, кварцевый моноцит и гранодиорит третичного возраста, а также некоторые пегматиты; образцы подвергались исследованию частично в целом, частично по фракциям — мономинеральным /калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц, мусковит, биотит, роговая обманка, сфен/ и магнитной. В качестве средства исследования был применен качественный и частично количественный спектральный анализ. Определения велись на 45-48 элементов; однако было установлено присутствие далеко не всех элементов и, кроме того, поведение некоторых из установленных оказалось мало характерным. Поэтому выводы делались лишь по 17 элементам, не принадлежащим к основным породообразующим / Sr, Ba, Sc, Y, La, Ce; Nd, Ti, Zr, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ag, Zn, Pb /, которые показывали значительные колебания в содержаниях при переходе от одного минерала к другому или от одной породы к другой. Цели, преследовавшиеся Дж.М.Бреем при проведении работы, были очень широкие и касались попытки выяснить вопросы генетической связи оруденения с местными изверженными породами района, установить присутствие рудообразующих элементов в изверженных породах и т.п., однако же эти цели были достигнуты лишь частично и только в плане петрологии.

Выводы, сделанные Дж.М.Бреем, сводятся к следующему:

1. Каждая порода любого возраста характеризуется различиями в содержа-

нии некоторых элементов (Sc, La, Ce, Nd, Zr, V, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, и др.) Сравнение пород Джемстауна с некоторыми массачусетскими по геохимическим ассоциациям элементов свидетельствует о наличии родственных связей между породами в пределах одной провинции.

2. Состав аксессуарных элементов в одном и том же минерале меняется в зависимости от породы, в которой он содержится. Содержание Sr наиболее высоко в K и Ca- минералах/обычных полевых шпатах/, а Ba - в калиевом полевом шпате.

Все образцы кварца и сфена содержат Al; Sc наиболее обилен в Mg-Fe минералах / слюды и роговые обманки/; сфены содержат заметные количества редких земель; Ti, Mn, V, Cr- концентрируются в темноватых минералах и мусковите, а Ni и Co - в биотите.

Каждый минерал из пегматитов содержит в среднем меньше аксессуарных элементов, чем такой же минерал в материнской породе.

3. На основании спектральных /качественных и количественных/ анализов пород представляется возможным идентифицировать каждую породу района по гамме ее второстепенных элементов. Поэтому в пределах одного района вполне возможна корреляция пород с помощью спектрального анализа. Предполагается, что возможна такая корреляция пород разных районов.

Аналогичная работа того же автора /II/ посвящена рассмотрению результатов спектроаналитических исследований образцов третичных пород дайковой серии Передового хребта в Колорадо. Качественному и количественному анализам подвергались роговообманковый диорит, кварцево-монцонитовый порфир, натриевый гранит, биотитовый монцонит, латитовый порфир, биотито-латитовая интрузивная брекчия и лимбургит. Всего анализировалось 9 образцов пород и 31 проба минералов из этих пород/ плагиоклазов, биотитов, магнитных фракций, роговых обманок/. Состав определявшихся элементов тот же, что и при исследовании пород Джемстауна. Выводы Дж.М.Брея сводятся к следующему:

1. Важными элементами-индикаторами, т.е. такими, которые систематически присутствуют в различных породах и минералах в различных количествах являются Pb, Ni, Co, Sc, Cr, V, La, Ce, Y, Nd, Ti, Mn . По ним можно группировать или коррелировать разные типы пород, а также составлять грубую региональную классификацию последних. Интересны геохимические пары, распределение которых совершенно одинаково, например, никеля и кобальта, хрома и ванадия.

2. Сравнение результатов анализов на элементы-индикаторы жильных пород третичного возраста, с одной стороны, с анализами на эти же элементы глубинных пород докембрийского и третичного возрастов, с другой стороны, показало, что между ними имеется определенное различие.

В целом по результатам своих работ Дж.М.Брей заключает, что каждая изверженная порода характеризуется своим особым комплексом редких элементов, меняющимся в зависимости от типа породы, возраста и провинции.

Спектрографические исследования гранитов, нескольких образцов кварцевых монзонитов и их пегматитов, а также наиболее важных порообразующих минералов из этих пород /кварца, полевых шпатов, мусковита и биотита/ из района Новой Англии были произведены Дж.А.Шимером /12/.

В результате было обнаружено присутствие в разных количествах ряда акцессорных элементов: Ba, Sr, Cr, Tl, V, Y, Zr, Cu, Ga, La, Mn, Sc, Co, Ni, Zn, на основании чего автором были сделаны следующие выводы:

1. Для каждой исследовавшейся породы установлена ясно выраженная и специфическая для неё гамма второстепенных элементов, отличающая её от других пород. Большая часть второстепенных элементов обнаружена в биотите из гранитов.

2. Результаты исследования указывают на генетическую связь между гранитами и пегматитами. Однако почти неизменно в гранитах и гранитных минералах обнаруживалось большее разнообразие в содержаниях второстепенных элементов, чем в родственных им пегматитах и минералах из них.

Любопытных результатов добился Л.Х.Аренс путем исследования геохимической связи пары элементов - таллия и рубидия в минералах Южноафриканских гранитов, сиенитов и пегматитов /13/.

Выбор пары таллий-рубидий был продиктован соображениями, что одновалентный таллий, в некоторой части своих химических свойств, близок к щелочным металлам, а по химико-физическим свойствам, где роль играет размер иона - к рубидию, с которым имеет одинаковый ионный радиус, равный $1,49^{\circ}\text{A}$. Так как рубидий накапливается в калиевых минералах, где он изоморфно замещает калий / $\text{R}_1\text{K} = 1,33^{\circ}\text{A}$ /, то следовало, исходя из вышеизложенного, ожидать того же и в отношении таллия. Поэтому в качестве непосредственных объектов исследования были выбраны калиевые минералы /микроклин, амазонит, ортоклиз, пертит, мусковит, флогопит/, а для сравнения - некоторые натровые /плаггиоклазы, парагонит/ и литиевые /лепидолит, цинвальдит, амблигонит/ минералы, а также поллуцит и берилл. Средством исследования являлся количественный спектральный анализ, дававший точность $\pm 11\%$. Результаты его выражались в отношениях весов $\text{Rb}_2\text{O} : \text{Tl}_2\text{O}$; всего было определено 141 отношение, лежащее в пределах от 30 до 650, при абсолютных величинах содержаний Rb_2O в пределах от $3 \cdot 10^{-3}\%$ и до 2,4% и Tl_2O - от $3 \cdot 10^{-5}\%$ и до $2,3 \cdot 10^{-2}\%$.

Основные выводы, произведенные Арэнсом, следующие:

1. Рубидий и таллий приурочены, главным образом, к минералам богатым калием, а также к цезиевому минералу - поллуциту.

2. Заметных различий в величине отношений $\text{Rb}_2\text{O} : \text{Tl}_2\text{O}$ в зависимости от минерала при этом не наблюдалось - очевидно, рубидий и таллий входят в различные решетки с одинаковой легкостью. Единственным фактором, который влияет на величину отношения, является, повидимому, относительное богатство или бедность обоими элементами соответствующего первоисточника.

3. Если отношение $\text{Rb}_2\text{O} : \text{Tl}_2\text{O}$ относится к одной и той же породе, территории или генетической провинции, то значение отношения остается почти постоянным в пределах точности анализа /оно приближается к постоянству изо -

точных отношений/.

4. Вследствие того, что каждая порода или район обладает индивидуальным значением отношения $Rb_2O : Tl_2O$, использование этой геохимической характеристики может помочь разрешению геологических проблем определения возраста и генезиса пород.

Соотношения, выведенные Аренсом, были использованы им для решения ряда практических вопросов. Так, для пегматитов Намакваленда получены разные величины отношений $Rb_2O : Tl_2O$ — для микроклинов /70-100/ и для мусковитов /30-50/, что подтверждает геологическую точку зрения на одновременность фаз образования упомянутых минералов.

Далее оказалось, что древние граниты района Олифант имеют низкие значения отношений /60-100/, тогда как сиениты комплекса Палабор характеризуются, наоборот, очень высокими значениями отношений /260-650/. Поэтому надлежит считать гранит серии Палабор, имеющий низкие значения отношений, генетически связанным с древним гранитом Олифанта, тогда как пегматитовую минерализацию, имеющую высокие значения отношений — с сиенитами. Как отмечает Аренс, это не противоречит полевым наблюдениям.

Вышеприведенные примеры касаются проблемы использования первично-конституционального рассеяния в целях общегеологического изучения, корреляции массивов изверженных пород и пр. Следующие примеры показывают, помимо этого, пути и результаты использования сингенетичного рассеяния для рудных поисков.

Л.Х.Аренс и У.Р.Либенберг в 1950 г. опубликовали статью/14/, в которой рассматриваются результаты спектрохимических определений олова и индия в слюдах. Всего был проанализирован 61 образец слюды /в том числе 38 образцов мусковита, 4 образца биотита, 13 образцов лепидолита, 3-флогопита и 3-разных/, отобранных из различных мест земного шара, в основном же из юго-западной Африки. Все образцы показали содержание SnO_2 от 0,0005% и до 0,4-0,44%; в большинстве — от 0,005 до 0,05%. Авторы заключили, что, по-видимому, в образцах, обогащенных оловом, этот элемент находится частично в виде касситерита /соединение включения по Крамеру(?)/.

Крайне интересным является тот вывод авторов, что присутствие олова в слюдах может рассматриваться как возможный поисковый признак на олово. Это основывается на том наблюдении, что в мусковитах из пегматитов, с которыми заведомо связаны оловорудные месторождения, содержания олова неизменно повышенные /до 0,4% SnO_2 /, причем микроскопически устанавливаются включения касситерита. В то же самое время, в образцах мусковита из другого, не оловорудного района, содержания олова необычайно низкие.

Полученные, правда немногочисленные данные, по мнению авторов, указывают, что если в слюдах из пегматитов обнаружено обогащение оловом, то такие пегматиты могут рассматриваться, как признак вероятности наличия в районе оловорудных месторождений. Низкие же содержания олова в мусковите, с другой стороны, свидетельствуют, что район, вероятнее всего, лишен таких мес-

торождений. Авторы добавляют, что другие пегматитовые минералы /альбит, микроклин, кварц/ не содержат определенных количеств олова и поэтому бесполезны как возможные индикаторы при поисках.

В статье Ж.Эдвоба /15/, посвященной рассмотрению использования микроэлементов при поисках рудоносных пегматитов, указывается, что автором были рассмотрены следующие два вопроса близкие к разбираемым нами:

1. В какой мере можно предвидеть наличие и тип пегматитовой минерализации для данной площади развития гранитов;

2. Можно ли быстро определить, какие руды / если они имеются/ могут быть найдены в данном пегматите.

Для ответа на эти вопросы автором, помимо собственных материалов, широко использовались данные, опубликованные в литературе и имеющие отношения к указанному. На основании таким образом накопленных материалов Ж.Эдвоб делает следующие выводы:

1. Распределение микроэлементов в минералах гранитов и пегматитов следует вполне определенным законам, что дает возможность пользоваться анализом на микроэлементы при поисках рудоносных гранитов и пегматитов;

2. Рудоносные граниты /в частности, оловоносные/ могут быть обнаружены по микроэлементам. В доказательство Ж.Эдвобом приводится сводная таблица /см. таблицу № 2/.

3. Исследования микроэлементов позволяют предсказать наличие рудопроявления в пегматите. В доказательство Ж.Эдвобом приводится сводная таблица № 3 /п.20 по Ранкама и Сахама /9//.

Таблица № 2

№№ пп	Искомое полезное ископаемое	Анализируемый материал	Обогащенный элемент	Местонахождение	Автор
1	Олово	Граниты, полевшпаты и слюды из гранитов	Sn	Банка	Вестерфельд
2.	Олово	Биотит из гранита	Sn	Корнуэлл	Вестерфельд
3.	Олово	Плагиоклаз, слюды, турмалин из гранитов	Sn	Гару	Оттеман
4.	Олово	Граниты	Sn	Малэзи, Лаос	Голубинов
5.	Олово	Полевшпаты из гранитов	Sn	Ла Шез Эшассьер, Меймак/Франция/	Эдвоб
6.	Вольфрам	Гранодиорит	Sn	Британская Колумбия	Стивенсон
7.	Тантал	Сфен из гранита	Ta	Нью Мексико	Монтгомери
8.	Церий-лантан	Сфен и биотит из гранита	Ce-La	Колорадо	Брэй
9.	Бериллий	Плагиоклаз из гранита	Be	Бессин/Франция/	Эдвоб
10.	Цинк-свинец	Граниты	Zn-Pb	Гару	Оттеман

Таблица № 3

№№ пп	Искомое полезное ископа- емое	Анализируемый материал	Обога- щенный эле- мент	Местонахождение	Автор
I	2	3	4	5	6
1	Олово	Сподумен	Sn	9 северо-американских участ- ков	Габариель и др.
2	Олово	Сподумен	Sn	5 северо- и южноамериканских участков и Мадагаскар	Клеффи
3	Олово	Сподумен	Sn	Манано /Бельгийское Конго/	Эдвоп
4.	Олово	Слюда	Sn	Южная Африка	Аренс-Ли- бенберг
5.	Олово	Слюда	Sn	СССР	Боровик
6.	Олово	Альбит	Sn	Венгрия	Гласс
7.	Олово	Микроклин	Sn	Манано, Мюнка/Б. Конго/	Эдвоп
8.	Цезий	Лепидолит	Cs/Rb	?	Гинзбург
9.	Цезий	Амазонит	Cs	Урал	Соседко
10.	Цезий	Микроклин	Cs	Варутреск	Адамсон
11.	Цезий	Сподумен	Cs	Варутреск	Эдвоп
12.	Литий	Полевшаты	Li	Различные места	Эдвоп
13.	Литий	Альбит	Li	Ла Шез	Эдвоп
14.	Литий	Альбит	Li	Манано	Эдвоп
15.	Бериллий	Мусковит, биотит	Be	Британская Колумбия	П. Уатсон
16.	Бериллий	Мусковит и поле- шаты	Be	Бессин	Эдвоп
17.	Тантал	Касситерит	Nb-Ta	?	Гинзбург
18.	Редкие земли	Апатит	Tb	?	Квирк- кремерс
19.	Цинк	Полевшаты	Pb	Онтарио	Ньюхауз
20.	Редкие земли	Сфен	Tb	Общий вывод	Ранкама и Сахама

Распределением олова в оловоносных гранитах Калбинского хребта и в близ-
ких к ним по возрасту и составу, но неоловоносных гранитах кольванского типа
Горного Алтая занимались В.Л. Барсуков и Л.П. Павленко /16/.

Определения содержания производились при помощи спектрального анализа. Пробы
для анализа отбирались из образцов, не показывавших под микроскопом следов
постмагматических изменений.

Результаты изучения свидетельствуют, что оловоносные средне- и крупно-
зернистые граниты главной стадии формирования Калбинского интрузивного ком-
плекса в безрудном поле содержат олово, в среднем, 25-26 г/т, при колебаниях
от 22 до 31 г/т. При контактовых гранодиоритах, мелкозернистых аплитовидных
гранитах и гибридных гранитах содержания олова снижаются до 5-10 г/т и мень-
ше.

В то же самое время в пробах, взятых из неоловоносных колыванских гранитов Горного Алтая, а также из гранитов и гранодиоритов Рудного Алтая, олово везде обнаруживается в содержаниях, менее 5 г/т.

Аналогичным образом оловоносные гранитоиды Восточного Забайкалья обнаруживают содержания олова 15–23 г/т, в то время как в неоловоносных гранитоидах этого района олово содержится в количествах меньше 5 г/т.

Как характерность отмечается повышенное содержание свинца, цинка и меди в пробах из гранитоидных пород Рудного Алтая.

В результате авторы высказывают предположение, что гранитные массивы, не несущие оловянного оруденения, содержат олово менее 5 г/т, в то время как в специализированных оловоносных гранитоидах содержания олова в 3–5 раз выше, достигая 16–30 г/т.

Специальные исследования, выполненные авторами в целях выявления минералов носителей олова в гранитоидах показали, что таким минералом является биотит, где содержания олова достигали 390 г/т в пробах из оловоносных гранитов и до 30–45 г/т из неоловоносных. Полевшаты и кварц, а также акцессории/апатит, циркон, ильменит, магнетит, монацит/содержаниями олова, как правило, не выделяются. Авторы в заключение статьи выражают уверенность, что предлагаемые геохимические методы могут помочь в практике геолого-поисковых работ.

Близкими к указанным по характеру и целям явились исследования В.Ф.Слаусона и М.П.Наковского /17/, выполненные ими в районах крупной свинцовой добычи в восточных штатах США (районы Тинтик, Бингхэм, Парк-Сити, Литтл Коттонвуд, Айрон-Спрингс /Юта/ и Робинсон и Уайтхорс Пасс /Невада/). Исследователи поставили задачей установить закономерности распределения свинца в калишпатах местных изверженных пород, безрудных и таких, с которыми генетически связывается свинцовое оруденение. Калишпаты в качестве непосредственного объекта исследования были выбраны по соображениям об изоморфизме калия и свинца.

Породами, из которых отбирались и анализировались мономинеральные /числотой до 95%/ калишпатовые пробы, являлись монцониты, не затронутые выветриванием. Определение свинца производилось при помощи спектроанализа.

Генеральным выводом исследователей является утверждение, что наблюдается прямая взаимозависимость между содержаниями свинца в калишпатах монцонитов и богатством района свинцовыми месторождениями. В частности, указывается, что при фоне свинца в калишпатах из безрудных монцонитов равном 0,0025% в рудных районах установлены следующие средние содержания: по Тинтик-0,0029%; Бингхэм - 0,0061%; Парк-Сити, Литтл Коттонвуд - 0,0047% и т.д.

Специальные и попутные геохимические исследования производились рядом лиц на Крайнем Северо-востоке СССР. Эта обширная территория, заключенная в пределах от р.Лены до морей Чукотского, Баренцова и Охотского, площадью около 2,5 мил кв.км характеризуется сложным геологическим строением. В нем принимает участие как нормально осадочные и метаморфические породы разного воз-

раста, от докембрия и до верхов третичных, перемежающиеся с покровами эффузивов, так и разнообразные интрузивы, от кислых до основных и ультраосновных разностей.

Металлогения Крайнего Северо-Востока отличается разнообразием; особенно широко проявлены оловянное и золотое оруденения, генетически связываемые: оловянное — с гранитоидами, золотое — с малыми интрузиями гранодиоритового и диоритового составов и породами дайковой серии. В общей сложности в районе насчитывается свыше двух тысяч гранитоидных интрузий, разнообразных по площадям выходов, степени эродированности и деталям состава.

В пределах некоторых из них было обнаружено промышленное оловянное оруденение, подчас весьма насыщенное, приуроченное к жильным системам, развитым только в пределах самих интрузивных массивов и генетически, по всей вероятности, связанное с последними. Характерной особенностью подобного оруденения является крайне ограниченная протяженность в плоскости падения жиль /первые сотни метров/ и простекающая отсюда редкая случайность обнаружения, возникающая лишь вследствие благоприятности природных эрозионных срезов. В связи с этим возникла проблема выявления из числа неизученных интрузий потенциально оловоносных, путем установления для них каких-либо характерных признаков. Попытки разрешить эту задачу при помощи классических методов исследования — петрографических, петрохимических, кристаллооптических — приводили к слишком общим решениям.

Поэтому, как дополнительное детализирующее средство было намечено привлечь геохимические исследования. Целью геохимических исследований было поставлено выявление тех недоступных обычным приемам изучения особенностей состава изверженных пород, которые в совокупности с другими /геологическими и т.п./ данными позволяли бы, насколько можно обоснованно, выделять к постановке первоочередных поисковых работ наиболее надежные массивы.

Первые работы в этом направлении на Крайнем Северо-Востоке СССР были проведены Н.И.Сафроновым и Н.М.Янчук в 1949—1951 году.

В качестве объектов исследования были выбраны около 30 гранитоидных массивов, часть из которых была заведомо связана с оловорудными месторождениями, часть с золоторудными, а остальные рассматривались как безрудные. В качестве стандарта был принят безрудный гранодиорит из местного батолита. Из каждого массива было отобрано 4—6 проб, часть из которых готовилась как средние, характеризующие весь массив или какую-либо особую его часть. В каждой пробе определялось наличие в общей сложности 35 рассеянных элементов /Li, Be, B, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, La, Ce, Yb, Hf, Ta, W, Bb, Bi /, однако выводы представилось возможным сделать только по ограниченной части элементов, обладавших уверенно определяемыми содержаниями.

Применялся полуколичественный спектральный анализ; изучался материал пробы в целом, а также фракции — легкая и тяжелая, лейкократовая и меланократовая, электромагнитная и мономинеральные. Одновременно выполнялись ис-

следования дробленого материала под бинокулярной лупой и шлифов под микроскопом. В качестве особого приема изображения результатов использовалось микрофотометрирование спектров. В конечном итоге, на основании анализа результатов всех проведенных исследований, пришли к выводам, что:

1. Любой гранитоидный массив несет в своем составе весьма обильную гамму рассеянных элементов.

2. Каждой гранитоидной породе в пределах неизменности петрографо-минералогических и структурных особенностей ее свойственна индивидуальная гамма рассеянных элементов, с соблюдением внутри этой гаммы постоянства состава и практически одинаковых количественных значений содержаний. Особенно отчетливо геохимическая физиономия массива выявляется при помощи микрофотометрирования спектров.

3. Среди исследованных массивов заведомо оловоносные интрузии, по сравнению с золотоносными и "пустыми" интрузиями, по составу свойственных им аксессуарных элементов выделяются повышенными содержаниями бериллия и редких земель, при угнетенном состоянии циркония по сравнению со стандартным батолитом /примерно в 1,5 раза ниже чем в стандарте/ и ниобия /?/. Особенно отчетливо подобные соотношения проявляются при сравнении содержания бериллия в полевошпатовых фракциях, а циркония, редких земель и ниобия /?/ - в электромагнитных и меланократовых фракциях сопоставляемых пород. Крайне характерным явилось то обстоятельство, что неоднократные специальные попытки установить наличие самостоятельных бериллиевых минералов оказались безуспешными, а аксессуарные минералы циркония, редких земель и т.п. обнаруживались далеко не во всех шлифах.

4. Каких-либо уверенных данных об обогащении рассеянным геохимическим оловом гранитоидных интрузивов, сопровождаемых оловорудными месторождениями, получено не было.

Вопросами связи оловянного оруденения с мезозойскими интрузиями Чукотки и выяснением влияния ассимиляции магмой на оловоносность тех же интрузий занимался С.Ф.Лугов /18,19/. Исследованиями, в том числе интересующими нас геохимическими, была охвачена часть территории Чукотского национального округа, общей площадью 200-250 тыс. кв. км, в пределах от Чаунской губы на западе и до Берингова моря на востоке и от побережья Чукотского моря на севере до линии, соединяющей истоки р. Чауны с заливом Креста на юге. В геологическом строении этой площади принимают участие метаморфизованные, нормально осадочные, туфогенные и эффузивные породы от докембрия и до верхов третичного периода, прорванные во многих местах гранитоидными интрузиями. Среди последних наибольшим развитием пользуются мезозойские - нижнемезозойские, нижнемеловые и верхнемеловые. С последними в пространственной связи /возможно, и в генетической/ находится известная разнообразная минерализация, и прежде всего, олова, вольфрама, золота.

С.Ф.Луговым геолого-геохимическому исследованию была подвергнута большая часть гранитоидных массивов, относящихся к различным по возрасту текто-

но-магматическим циклам и являющихся как оловоносными, так и неодовоносными. Исследование состава выполнялось при помощи количественного и полуквали-
 тативного спектрального анализа; общее количество анализов составляло многие ты-
 сячи. Анализы выполнялись на максимально возможное количество аксессуарных
 элементов, однако уверенно удалось установить и сделать выводы только в от-
 ношении 26 нижеперечисленных, среди которых особенное внимание уделялось оло-
 ву и бору.

В таблице № 4 приведены сводные результаты выполненных геохимических
 исследований в разрезе различных интрузивных комплексов.

Таблица 4

№ № п/п	Интрузивные комплексы	Содержания в весовых %		Состав дополнитель- ной гаммы аксессуар- ных элементов
		олова	бора	
1	Нижнемезозойский /кварцевые сиени- ты, гранодиориты, граниты, лейко- кратовые граниты/	0,0007	Аналогично поведению аксессуарного олова.	Ba, V, Cu, Zr, Be, Sr, Zn, La, Ni всего 9 элементов
2	Нижнемеловой /гранодиориты, граниты, лейко- кратовые граниты/	0,0011		Ba, V, Cu, Zr, Be, Sr, Zn, Ni, Cr, Pb, Ti, Y, Yb, Nb, Mo, Sc, Ga, As, W - всего 19 элементов
3	Верхнемеловой /граниты, грано- диориты, адамели- ты, кварцевые сиениты, монцо- ниты, лейкокра- товые граниты/	0,0016		Ba, V, Cu, Zr, Be, Sr, Zn, Cr, Pb, Ti, Yb, Nb, Mo, Ga, As, W, Li, Co, In, Ag, Bi, Cd, Hg, Ta всего 24 элемента
4	Третичный /граниты/	0,0008		-

В следующей таблице № 5 приведены установленные колебания содержаний
 олова и бора в породах выделенных магматических комплексов.

Таблица 5

№ № п/п	Комплекс	Массивы	Содержание в весов. %	
			олова	бора
1	Нижне- мезозой- ский	Велиткинский	0,0008	аналогично поведению акцессорного олова
		Куэкувуньский	0,0007	
		Район Мечегменской губы	0,0007	
2	Нижне- меловой	Иультинский	0,0012	
		Энгергинский	0,0010	
		Район бухты Руддера	0,0013	
3	Верхне- меловой	Певехский	0,0014	
		Шелагский	0,0012	
		Северный	0,0016	

Если учесть, что колебания в составе и содержаниях, аналогичные приведенным в таблице № 5, распространяются и на гамму дополнительных акцессорных элементов, то можно вполне присоединиться к выводу С.Ф.Лугова, что в отношении геохимических особенностей интрузивные комплексы и слагающие их породы: "имеет между собой качественное родство и количественное различие" - обстоятельства, позволяющие однозначно охарактеризовать эти образования при помощи геохимических показателей.

Помимо указанного, на основании полученных геохимических данных С.Ф.Луговым делается еще ряд заключений, а именно:

1. Олово в гранитоидах является магматогенным. Об этом свидетельствует наличие олова в биотитах /до 0,0033%/и его присутствие в апатитах, обычных турмалинах, ортитах и других заведомо магматогеновых минералах, а также установление мельчайших рассеянных зерен касситерита в миаролах гранитоидов.

2. Рассеянное магматическое олово содержится в гранитоидах всех интрузивных комплексов Чукотки. Однако в меловых гранитоидах, несущих повышенную, а местами промышленную оловянную минерализацию, содержания олова в 1,5-2 раза выше чем в нижнемезозойских, заведомо неоловоносных. Вместе с тем среди меловых гранитоидов также встречаются интрузивные тела, которые, хотя и обладают повышенными содержаниями магматогенного олова, но тем не менее не сопровождаются постмагматической оловорудной минерализацией.

3. Бор, подобно олову, в гранитоидах Чукотки является магматогенным. Его поведение в горных породах отчетливо коррелируется с распределением в них олова.

4. Оловоносная провинция Чукотки, подобно другим оловоносным регионам мира, характеризуется повышенными, против среднемировых данных, содержаниями

ими олова в горных породах. По С.Ф.Лугову мировые кларки олова завышены и на самом деле должны заключаться в пределах 0,0006-0,001%.

В течение 1952-55 гг в пределах Чукотки Б.Л.Флеров и И.Е.Дворак всесторонне изучали, в том числе с геохимической точки зрения, Валькумейский интрузивный комплекс Певекского полуострова. В геологическом строении этого района принимает участие осадочная песчано-сланцевая толща триаса /?/, прорванная интрузиями гранитоидов и породами дайковой серии. Соотношение площадей осадочных и изверженных пород приблизительно равно. Изверженные породы выходят цепочкой из трех массивов - Певекского - на юге, Яндрапаакского - на севере и Пэзкенейского в промежутке и, по общегеологическим соображениям, должны представлять собой апиксы единого подземного интрузива. По составу Певекский массив представлен андезитовыми гранитами, прорванными в центре штоком лейкократовых гранитов, Пэзкенейский - адамеллитами и Яндрапаакский - в основном андезитовыми гранитами. Породы дайковой серии представлены гранодиорит-, гранит- и диорит-порфирами, аплитами и лампрофирами; пегматитов не установлено.

Верхний возраст интрузий - после верхнемеловой; они активно воздействуют на вмещающие осадочные толщи, создавая пояс орговикования различной интенсивности, шириной до 2,5 км. В пространственной и генетической связи с гранитоидами Певекского массива находятся многочисленные оловорудные жилы, по составу отвечающие турмалино-сульфидным рудопроявлениям касситерито-сульфидной формации.

Геохимическим и попутным минералогическим /по аксессуариям/ исследованиям были подвергнуты 49 штучных проб, каждая весом по 8 кг. Пробы исследовались в целом, по шлихам, полученным протолочкой и отмывкой, и по различным фракциям.

Среди аксессуарных минералов были установлены: касситерит, сульфиды/пирит, пирротин, арсенипирит/, флюорит, магнетит, апатит, циркон, гранат, турмалин и в редких зернах: халькопирит, сфен, рутил, апатит, топаз, аксинит, шеелит. Бериллиевых минералов обнаружено не было.

В распределении минералов-аксессуариев авторами подмечены некоторые закономерности, из которых наиболее интересной является относящаяся к касситериту. Именно, последний в повышенных количествах наблюдался в пробах из дайковых диоритовых порфиритов и габбросиенит-порфиритов и спорадически устонавливался в лампрофирах, дайках лейкократовых гранитов, гранодиоритах Яндрапаака и в контактовых роговиках.

Касситерит отсутствовал в пробах главных пород массивов андезитовых гранитов, штока лейкократовых гранитов, гранодиорит-порфиритов и турмалиновых роговиков, взятых вдали от рудных жил и обработанных со всеми мерами предосторожности.

Исследование аксессуарных элементов - примесей проводилось при помощи полуквантитативного спектрального анализа, на максимально-возможное количество элементов. Однако уверенно были обнаружены и выводы сделаны по 30 элементам

(Li, Be, B, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, In, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Yt, Hf, W, Pb, Bi).

Элементы Ge, Te, Cs, Ta, Re, Tl - не установлены ни в породе, в целом, ни в минеральных фракциях.

Выводы, сделанные авторами статьи в отношении геохимического поведения рассеянных элементов, следующие:

1. Как кислые, так и основные /дайки/изверженные породы, в целом, характеризуются одинаковым списком элементов-аксессуаров, что лишний раз подчеркивает принадлежность всех пород к единому интрузивному комплексу. Особенно характерными элементами комплекса являются B, Sn, Ga, Rb, содержащиеся в породах в количествах, превышающих их мировые кларки. Содержания V и Cr несколько выше чем их кларки в кислых породах.

2. Составы групп аксессуарных элементов в отдельных породах, в деталях, характеризуются индивидуальными чертами. Так, содержания Li, Be, B, Mo, Sb, La, Pb, Bi в лейкократовых гранитах выше чем в дайковых породах, тогда как для Se, Ti, Cr и V устанавливается противоположная тенденция.

Одновременно были подтверждены более ранние выводы Н.И.Сафронова и Н.М.Янчук о том, что:

- а/ устанавливается прямая зависимость между содержаниями Be и Sn.
- б/ изменения содержаний Ti, V и Cr согласованно увеличиваются от лейкократовых гранитов к гранодиоритам;
- в/ содержания Ag и Cu выше в лейкократовых гранитах;
- г/ во всех гранитоидах повышенные содержания Pb связываются с повышенными содержаниями K.

Вывод тех же исследователей об обратной зависимости бериллия и циркония работами Б.Л.Флерова и И.Е.Дворак не был подтвержден; это и понятно, так как подобный вывод мог быть сделан только при сравнении оловоносных и золотоносных интрузий, а это не входило в задачу рассматриваемых исследований.

3. Между изверженными породами и тесно связанными с ними пространственно гидротермальными образованиями устанавливаются родственные геохимические черты. Например, Cr, Sn, Pb, Ga, V и др., особенно характерные для изверженных пород комплекса, присутствуют в продуктах гидротерм также в повышенных количествах / Sn - в касситеритах и турмалинах; Ga - в турмалинах, сидерофиллитах и альбитах; Pb - в адулярах; V - в турмалинах, аксинитах, анкеритах и касситеритах; Cr - в мусковитах и сидерофиллитах/. С другой стороны, Ge, Sr, W, Mo, не характерные для породы, не установлены и в продуктах гидротерм. Эти обстоятельства, очевидно, говорят о генетическом родстве гранитоидов Певекского п-ва и рудных жил, имея в виду при этом более глубокие части магматического очага.

Одной из последних по времени работ, посвященных специально исследованию первично-конституционального рассеяния в основных и ультраосновных породах Кольского п-ва, является работа С.М.Чихачева, выполнявшаяся в 1957-60 гг

в ВИТР в составе комплексной темы /руководитель Д.В.Полферов/. Целью работ по теме, в целом, являлась разработка комплексной методики поисков медно-никелевых месторождений на Кольском полуострове; разработка геохимической подтемы имела задачей выявление отдельных элементов-индикаторов /или типичной геохимической ассоциации элементов/, позволяющих производить перспективную оценку никеленосности базитовых и ультрабазитовых интрузий Кольского полуострова.

Исследование характера первично-конституционального рассеяния элементов в основных и ультраосновных породах было проведено на восьми участках, приуроченных к никеленосной провинции региона. В этих пределах развиты многочисленные рудоносные и нерудоносные /в смысле месторождений никеля/ интрузии гипербазитов и базитов /перидотитов, серпентинитов, дунитов, пироксенитов, норитов, габбро-норитов, габбро, диоритов/, задегающие в породах гранулитовой и габбро-диоритовой серии, филлитах, биотитовых и плагиоклазовых гнейсах.

Всего было отобрано и исследовано при помощи полуколичественного спектрального анализа 2330 проб каменного материала; пробы отбирались вне пределов каких-либо видимых рудопроявлений.

Анализ производился на элементы: **Ni, Co, Cu, Cr, Ti, V, Mn, Zn, Ga, Nb, Zr, Mo, Ag**. Как оказалось, наиболее типичным комплексом элементов, общим для базитов и ультрабазитов Кольской медно-никелевой провинции является сочетание шести элементов **Ni, Co, Cu, Cr, Ti, V**; этим рассматриваемая провинция четко отличается от площадей развития щелочных интрузий на Кольском полуострове. Остальные элементы — **Mn, Zn, Ga, Nb, Zr, Mo, Ag** могут не устанавливаться, характеризуя местные геохимические условия, или особенности пород интрузии, часто в зависимости от геохимии вмещающих толщ.

Анализ полученных результатов позволяет С.М.Чихачеву сделать следующие выводы:

1/ Геохимические особенности отдельных интрузий и слагающих их дифференциатов таковы, что каждая из интрузий и пород комплекса имеет свои собственные своеобразные черты, отличающие ее от соседних образований. Вместе с тем, все они имеют много общего, что позволяет объединять их в определенные геохимические группы.

2/ Характеристическими геохимическими особенностями являются:

а/ величины фоновых значений содержаний элементов и пределы колебаний этих величин;

б/ величины относительных концентраций элементов в отдельных образованиях или их группах;

в/ количественные соотношения содержаний выбранных групп элементов;

г/ типичные ассоциации элементов.

3/ Если интрузии расположить в ряды по убыванию установленных средних содержаний девяти исследованных элементов / **Ni, Co, Cu, Cr, Ti, V, Mg,**

Ca, Nb /, то порядок расположения интрузий по различным элементам оказывается весьма отличным.

Возможность предугадать по характеру первично-конституционального рассеяния в интрузии ее перспективную никеленосность разбирает Д.В.Полферов/20/. В таблице № 6 представлены сводные данные его исследований.

Таблица № 6

Породы	Элементы	Среднее содержание в весовых %%	Кoeffициент концентрации "К"	Элементы	Среднее содержание в весовых %%
Группа "фоновых" безрудных базитов /габбро, габбро-нориты, габбро-лабродориты, гнейсо-нориты, диориты, основные породы финской Лапландии/	Ni	0,013	0,8	S	0,01
	Co	0,0029	0,6	CO ₂	0,003
	Cr	0,032	1,0	Cl	0,092
	Cu	не показательна	-	H ₂ O ⁺	0,09.
Группа "аномальных" /рудноносных/базитов нориты, метагаббро/	Ni	0,034	2,1	S	0,22
	Co	0,0061	1,3	CO ₂	0,26
	Cr	0,038	1,2	Cl	0,014
	Cu	не показательна	-	H ₂ O ⁺	2.13
Группа "фоновых" безрудных ультрабазитов /перидотиты, метаперидотиты, ультрабазиты финской Лапландии/	Ni	0,12	1.0	S	0.02
	Co	0,013	0.6	CO ₂	0.291
	Cr	0,27	1,3	Cl	0,023
	Cu	0,014	1,7	H ₂ O ⁺	2,38
Группа "аномальных" рудоносных ультрабазитов /перидотиты, метаперидотиты/	Ni	0,28	2,3	S	0,26
	Co	0,021	1,0	CO ₂	0,062
	Cr	0,18	0,9	Cl	0,017
	Cu	0,041	5,1	H ₂ O ⁺	4,03

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Коэффициент концентрации "К" получен путем деления установленного содержания элемента на его кларк, по А.П.Виноградову.

2. H₂O⁺ - конституциональная вода.

К таблице необходимо добавить следующие выводы Д.В.Полферова:

1. Породы основного и ультраосновного рядов, слагающие никеленосные/аномальные/ интрузии Кольского полуострова, отличаются от аналогичных по петрографическому составу базитов и ультрабазитов не никеленосных /"фоновых"/ массивов того же региона повышенными содержаниями главных рудообразующих элементов - никеля, кобальта, хрома, меди и характерным поведением некоторых эле-

ментов-спутников.

Пироксенитовые разности подобным различием не обладают.

2. Основные дериваты никеленосных массивов содержат в среднем в 3 раза больше Ni ; минимум в II-III раз больше S ; в несколько раз больше H_2O^+ , чем базиты "фоновых" интрузий. Содержание хрома в них на 20% превышает фоновые; поведение Co, Cu и CO_2 мало характерно, а содержание Cl пониженное против "фоновых" пород.

3. Ультрабазитовые разности никеленосных массивов содержат в 2,3 раза больше Ni ; в 5,1 раз больше Cu ; минимум в II-III раз больше S ; в несколько раз больше H_2O^+ , чем ультрабазиты "фоновых" интрузий. Содержания Co и Cr в них близки к кларковым, поведение CO_2 мало характерно, а содержание Cl - пониженное против "фоновых" пород.

4. Выведенные эмпирические закономерности можно использовать, с учетом прочих благоприятных признаков /структурная позиция массива, его возраст и т.п./, для предварительной разбраковки базито-ультрабазитовых интрузий Кольского полуострова на перспективные и неперспективные, в части наличия связи с ними медноникелевой сульфидной минерализации.

В заключение остановимся на одном из последних материалов - на коллективном труде В.С.Коптева-Дворникова и др./21/. Исследователями было произведено изучение гранитоидных интрузивов Центр.Казахстана, Дальнего Востока и Забайкалья. Фактические материалы, полученные ими в исследованных районах, приведены в табл.№ 7.

Приведенные и другие фактические материалы дали возможность авторам сделать ряд общих выводов.

1. Поведение элементов-примесей, т.е. качественно-количественные соотношения элементов в геохимических ассоциациях, наблюдаемых в гранитоидах, определяются возрастом, составом и геологической позицией интрузий.

2. Выявленные группы "сквозных"/или проходящих/ элементов-примесей, выделение которых начинается в первые стадии развития очага гранитоидной магмы, а накопление происходит в результате постмагматических процессов, позволяют судить о генетических связях изученных месторождений с проявлениями интрузивной деятельности. Одновременно, подобные элементы дают возможность выявлять генетические связи между главными и дополнительными интрузивами, жильными сериитами, а также эффузивами.

3. Возможность рудообразования, по крайней мере в отношении олова, вольфрама, молибдена, стоит в прямой связи с потенциальной рудоносностью гранитоидной магмы.

Установлена прямая зависимость между повышенными содержаниями элементов-примесей и летучих элементов в материнских породах и появлением промышленных месторождений тех же элементов. Причем, даже в крупные месторождения отщепляются только ничтожные доли масс элементов, содержавшихся в магме.

4. Гранитоидные магмы, давшие начало различным гранитоидным интрузивам, были геохимически неоднородны, т.е, имели источниками геохимически различ-

Таблица № 7

Характерные акцессорные элементы в районах исследования

Исследованные образования	Центральный Казахстан	Дальний Восток и Приморье	Забайкалье
1	2	3	4
Гранитоиды, разновозрастные различных геологических позиций	Различные содержания групп элементов Pb, Zn, Cu; Be, Mo, Sn; F, B.	Ga, Cu, Mo, Ba - во всех гранитоидах района; Mo и Be - особенно в лейкократовых разностях. V, отчасти Pb, Zn, Sn - для меланократовых.	
Граниты, разновозрастные одинаковых геологических позиций	Позднекаледонские - Be, Zn. Среднегерцинские - Be, Pb. Позднегерцинские - Be, Mo, Sn, Pb.	Верхнепалеозойские и частично третичные - Sr, Ni, Cr, Co, отчасти Zn и V.	* В среднепалеозойских - Li, Zr, Sc, Sr, Ba, Co, Ni, Cr, Ti, V, Mn, Pb, Cu, Zn. В мезозойских - Sn и Ag. В древнекиммерийских - Mo. В кеммерийских - Mo, Bi. В новокиммерийских - Bi, La, As.
Гранитоиды, рудоносные.	-	Верхнепалеозойские /гродековские/ - Li, Rb, F, B, Sn, Ga, Pb. Верхнемеловые /марьяновские/ - Zr, Y, Nb, Ta, La, Sn, Ga, Pb.	В мезозойских оловяносных - Li, Zr, Sc, Sr, Ba, Co, Ni, Cr, Ti, V, Mn, Pb, Cu, Zn.

I	2	3	4
<p>Гранитоиды, гибри- дизированные /гранодиориты/.</p> <p>Элементы, сквозные /или проходящие/, одинаково характер- ные для всех гене- тически родственных образований</p>	<p>Содержат до 10 кларков Cr, Ni, Co, Ti, Mn, Pb, Zn, Cu</p> <p>при ничтожном содержа- нии редкометалльных эле- ментов.</p> <p>По исследованиям верхнепалеозойского комплекса Курамин- ских гор /Ср.Азия/ - Be, Zr, TR, Rb, Pb, Zn.</p>	<p>-</p> <p>Для верхнепалеозой- ского интрузивно - го комплекса При - ханкайского района - Rb, Be, Li, Ba, Zr, La, B, F, Sc, Sn, Pb.</p> <p>Для герцинских глав- ных и дополнительных интрузивов - Be, Pb, F, Sn.</p>	<p>Ni, Cr, Co, Ba.</p> <p>Для мезозойского интру- зивного комплекса - Be, Sn, TR, F, Zr, Pb, Cu, Zn, Ti.</p>
<p>Установлено геохи- мическое родство, подтверждающее общ- ность магматических очагов</p>	<p>По исследованиям в Бет-Пак-Дале - для главных и вспомогательных ин- трузивов, серий жильных пород и эффузивов</p>	<p>Для меловых интрузи- вов и субвулканиче- ских тел.</p>	<p>-</p>

* Примечание: Перечисленные металлические элементы дают постмагматические месторождения, связанные с указанными гранитами, либо же повышено проявляются в других месторождениях, связанных с этими же породами.

ные среды. Это утверждение перекликается с давно известными о существовании геохимических провинций.

5. Полученные при изучении интрузивов и кислых эффузивов геохимические материалы говорят за возможность единых очагов для этих различных образований.

6. На основании результатов изучения геохимических и минералогических особенностей установлена тесная генетическая связь между высокотемпературными кварц-касситеритовыми грейзеновыми образованиями, переходными типами оловорудных месторождений, низкотемпературными сульфидно-касситеритовыми месторождениями и некоторыми полиметаллическими месторождениями. Аналогичным путем установлена генетическая связь сульфидно-касситеритовых и полиметаллических месторождений с разновозрастными массивами нормальных лейкократовых биотитовых гранитов.

Наряду с этим, геохимические данные позволили отвергнуть возможные генетические связи между некоторыми гидротермальными месторождениями и конкретными интрузивами.

7. В части геохимического изучения мономинеральных фракций установлено:

а/ Элементы-примеси, накапливающиеся в полевых шпатах и кварцах, почти одни и те же. Аналогично положение для роговых обманок и биотитов, однако здесь/ особенно в биотите/ гамма элементов-примесей значительно разнообразнее. Накопление элементов-примесей наблюдается также в акцессорных минералах: цирконах, апатитах, ортитах, монацитах, сфенах, ильменитах и анатазах. Сравнительное изучение состава и распределения элементов-примесей по минеральным фракциям показывает, что именно цветные /особенно биотит/ и акцессорные минералы являются своеобразными коллекторами элементов-примесей в породах.

б/ В полевых шпатах и кварце постоянно накапливаются **Mg, Ti, Fe** ; только в полевых шпатах /дополнительно/- **Mn, Ga, Pb, (Mo, Tl)** и только в кварцах - **Na, Al, W**.

в/ Свойство накапливаться в биотитах проявляют **Ni, Co, Cu, Zn, Sn, Nb, Ta, Rb, Tl, Ba, Sr, Y, F, P, Cr, W, As, Bi**. Аналогичную тенденцию имеют также **Pb, Ti, Mn, Zr** , отчасти **Li** ; эта тенденция проявляется одинаковым образом в биотитах из главных, второстепенных и жильных гранитов, выражая тем самым связь с процессами дифференциации.

г/ В акцессорных минералах накапливаются **Sn, Hf, P, Cu, V, Pb, Sc, Zr, Y, La, Ga, TR**.

д/ В распределении элементов-примесей в различных минералах проявляются особенности, в зависимости от района исследования, геологической позиции и возраста интрузивов, а также рудной специализации магмы. Так, например, **Sn** особенно часто устанавливается в акцессорных минералах /цирконах, сфенах, апатитах, рутилах, тантало-ниобатах/ Забайкалья; накопление **TR**

в апатитах имеет тенденцию к возрастанию от древних к молодым комплексам; биотиты оловоносных магматических комплексов несут в себе **повышенные**

количества олова; характер примесей в сфенах, анатазах, рубинах и цирконах может служить индикатором рудоносности интрузивов.

8. Геохимические критерии, значение которых, в силу ряда причин, ранее не учитывалось, являются весьма важными.

В. В Ы В О Д Ы

Приведенные примеры исследования первично-конституционального рассеяния в изверженных породах /число которых может быть значительно увеличено/, подобранные специально из опыта работ на географически далеко разнесенных участках земной коры, убедительно демонстрируют наличие у интрузий и слагающих их дифференциатов общих геохимических особенностей и, одновременно, индивидуальных геохимических черт.

Эти геохимические особенности могут служить такими же диагностирующими признаками магматических образований, как и петрографо-минералогический состав, кристаллооптические свойства, петрохимические константы и т.п. и на этом основании могут использоваться для решения целого ряда практических задач, а именно:

1. Для установления геохимических /металлогенических, петрографических/ провинций, по свойственным им одним закономерным геохимическим ассоциациям элементов.

2. Для выявления семейств родственных /комагматических/ пород, по свойственной им гамме "сквозных" /проходящих/ рассеянных элементов.

3. Для идентификации визуально различных и различения визуально схожих пород, по сходству или различию свойственных им геохимических особенностей.

4. Для косвенной оценки перспективной рудоносности массивов изверженных пород по сходству их геохимических особенностей с таковыми для заведомо рудоносных интрузий.

5. Для прямой оценки перспективной рудоносности массивов изверженных пород по их особенному богатству искомыми элементами.

Следует, однако, заметить, что прямой способ оценки перспективной рудоносности интрузий требует еще основательного изучения, с целями выявления наиболее вероятных критериев и разработки простейших способов их полевого исследования и статистической оценки результатов.

§ 2. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рассеяние /нормальный геохимический фон/ в осадочных горных породах

А. Определение и общие сведения

Как известно, осадочные образования составляют примерно 5% по массе от всей литосферы в пределах по глубине до 16 км. Однако на современной земной поверхности выходы осадочных пород занимают до 75% от всей материковой площади земли. По данным Гольдшмидта из осадочных месторождений извлекают 85-90% от всей добычи минерального сырья; огромное количество различных магматогенных месторождений залегает в осадочных породах. В силу этих обстоятельств площади развития последних служат ареной интенсивных рудно-поисковых изысканий, в том числе при помощи геохимических методов. Поэтому важность изучения геохимических особенностей осадочных образований представляется неоспоримой.

Подавляющую часть осадочных пород составляют образования, возникшие так или иначе в морских условиях, или в крупных континентальных водоемах типа Каспийского и Аральского морей. Главной ареной возникновения морских отложений является континентальная платформа, хотя и составляющая, судя по современным морям, небольшую часть всей земной акватории /около 7,1%/, однако играющая совершенно исключительную геологическую роль. Именно в областях бывших континентальных платформ и накапливались основные массы известных нам осадочных горных пород. Глубина морей в пределах континентальной платформы не превышает 200 м и здесь, в условиях механического действия масс воды вносимых реками, морских течений, в том числе приливных и отливных волн, химической активности морской воды, жизнедеятельности богатой морской фауны и флоры, формируется исходный материал осадочных образований. Поэтому ниже главное внимание будет уделено рассмотрению геохимических особенностей морских отложений, а среди них мелко- и тонкозернистых, образующих впоследствии глинистые сланцы, которые занимают по распространенности первое место среди осадочных пород /около 80%/.

Как известно, осадки, дающие начало осадочным породам, образуются в результате действия трех различных процессов: осаднения обломочного материала, выпадения осадка из растворов /истинных и коллоидных/ и жизнедеятельности организмов. В зависимости от типа процессов, осадочные породы содержат в себе /в разных пропорциях/:

1. Минералы и обломки пород, существовавших до образования данной осадочной породы /унаследованный материал/.

2. Минералы, образовавшиеся химическим путем на различных этапах формирования породы.

3. Остатки растений и животных.

В соответствии с указанным, сингенетичное рассеяние в комплексы осадочных образований вносится всеми тремя путями, т.е. совместно с унаследо-

ваным материалом, одновременно с минералами новообразованиями и с органическими остатками. Рассеяние дополнительно возникает или усиливается за счет сорбционных или биохимических процессов, если они имели место в период формирования осадков, особенно на стадии диагенеза.

В книге Н.М.Страхова и др./22/, и в более поздней его статье /23/, а главное в монографии/24/, подробно рассмотрены основные закономерности геохимии осадкообразования в современных водоемах. Ниже приводятся основные сведения по этому вопросу.

Прежде всего, наблюдающееся разнообразие распределения различных, особенно малых элементов, в осадочных горных породах Н.М.Страхов ставит в связь не столько со свойствами самих элементов, сколько, во-первых, с формами их миграции в поверхностных водах и во-вторых, с особенностями физико-географических условий образования разных формаций. Решающее значение здесь приобретает характер выветривания на водосборной площади или в зоне активного воздействия морских прибрежных вод.

Если преобладает химическое выветривание пород с полным разрушением силикатных, алюмосиликатных и сульфидных минералов, то входящие в них составные части при размыве, попадая в водную среду, разделяются. Иными словами, сложившиеся в разрушающихся породах геохимические ассоциации элементов распадаются, и эти элементы и их соединения начинают мигрировать в водной среде и вместе с водной средой, в соответствии с их физико-химическими особенностями.

Н.М.Страховым в отношении форм миграции отдельных компонентов в речных потоках выделяются четыре группы, справедливые, очевидно, и для миграции в морских течениях.

Первая группа включает в себя легко растворимые соли — NaCl , KCl , MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 . Они создают истинные растворы слабых концентраций, далеких от насыщения, в виде которых и существуют неопределенно долго /кроме калия, часто сорбируемого глинистым материалом/.

Вторая группа включает в себя карбонаты щелочных и щелочно-земельных металлов — Na_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 — и некоторые кремнекислые соединения этих же элементов /например, Na_2SiO_3 /. Некоторые из этих соединений хорошо растворяются в воде / Na_2CO_3 /, другие значительно хуже или требуют специальных условий /например, растворенной углекислоты/. Поэтому формы водной миграции подобных соединений весьма сложные — то в виде истинных растворов, то в виде тонких взвесей при разных количественных соотношениях упомянутых форм, в зависимости от конкретных условий переноса.

Третья группа включает в себе соединения Fe , Mn , $\text{Al}(\text{?})$, P , а также, вероятно, малые металлы. Cu , Ni , Zn , Co , Mo , Pb , Sr , V , Be и др. Среди этих элементов достаточно полно изучено поведение в миграции лишь одного железа, однако полученные материалы позволяют сделать, по аналогии, и более широкие выводы. Так установлено, что соли железа обладают ничтожной растворимостью и легко гидролизуются, создавая коллоидные растворы. По-

этому большая часть этого металла мигрирует как золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$, особенно устойчивый в присутствии защитного коллоида органического вещества или золя кремнекислоты, хотя известны и органические соли /гумматы/ железа. При нарушении условий защиты легко возникает гель $\text{Fe}(\text{OH})_3$ или даже взвеси более крупных частиц этого соединения.

Наблюдения показали, что в тихих реках растворенное железо составляет 20-30% /остальные 80-70% находятся в виде взвесей гидроокиси/ и уменьшается до 1-3% в бурных водах, где практически все железо переходит в гели и взвеси. Эти же последние образования, благодаря положительности заряда, обладают весьма высокой сорбционной способностью по отношению ко многим веществам в анионной форме, в частности к PO_4^{-3} , VO_4^{-3} , AsO_4^{-3} , SO_4^{-2} и т.д. Алюминий и марганец ведут себя аналогично железу с той разницей, что марганец, будучи в форме окислов электроотрицательным, жадно сорбирует катионы большинства тяжелых металлов. В результате "малые" металлы оказываются невольными спутниками при миграции первых трех элементов / Fe, Mn, Al(?) /, хотя, благодаря высокой растворимости сульфатов Cu, Zn, Cd, Ni, Co, эти элементы могут частично мигрировать в независимом виде истинных растворов. Что касается фосфора, то он частично сорбируется $\text{Fe}(\text{OH})_3$, частично способен к переносу в виде солей.

Четвертую группу составляют кварц и различные силикаты и алюмосиликаты, для которых твердо установлена исчезающе малая растворимость в водах. В силу этого перечисленные образования, в основном, переносятся в виде мутей и взвесей и лишь в малой степени в виде растворов, притом исключительно коллоидных.

Изложенное касается миграции элементов в водной среде при химическом выветривании. Обратимся к рассмотрению выпадения водной нагрузки в осадки.

Нет нужды рассматривать специально выпадение в осадок мутей и взвесей. Это выпадение совершается вне зависимости от химического состава по законам механики /закон Стокса/ и по истечении определенного промежутка времени, зависящего только от размеров частиц и их избыточной плотности. Заметим лишь, что путем механического осаждения в образующиеся породы будет внесена своя определенная часть рассеянных элементов, которая вкупе с другими формами привноса и будет составлять первично-конституциональное /сингенетичное/ рассеяние породы в целом.

Другое дело, выпадение веществ из истинных и коллоидных растворов, в виде которых пребывает в водах известная часть мигрирующих веществ /иногда не малая/. В этом отношении, по характеру извлечения из растворов, Н.М.Страховым выделяются четыре группы элементов.

1. Группа элементов органогенного извлечения. Сюда входят само органическое вещество, растворенное в воде в виде углеводородных и белковоподобных соединений /"косная" форма живой материи по Вернадскому/, кремнекислота, фосфор, углекислые кальций и магний. Все эти вещества извлекаются из воды в результате жизнедеятельности, а в осадки попадают в составе скелетных и неразложившихся тканевых частиц, если только эти частицы не успевают рас-

твориться за время их опускания на дно, на что для "мягкого" органического вещества достаточно прохождения "пути", порядка первых сотен метров.

Химическое извлечение перечисленных веществ из воды в общем балансе их осаждения играет подчиненную роль.

2. Группа элементов химико-физического извлечения, куда входят **Fe, Mn, Al** (Al_2O_3). Эти вещества присутствуют в воде в растворимой форме, главным образом в виде металлоорганических соединений и извлекаются из неё в результате гидролиза. Образующиеся золи гидроокисей коагулируют и выпадают в осадок.

Биогенное извлечение перечисленных металлов имеет подчиненное значение.

3. Группа элементов физико-химического извлечения, куда входят "малые" элементы **Ni, Cu, Zn, V, Cr, B, Sr** и др.

В связи с особенной важностью для наших целей геохимической судьбы в море "малых" элементов, приведем более подробные сведения, руководствуясь в этом данными Н.Н.Страхова и А.П.Виноградова. Прежде всего заметим, что точных материалов пока еще нет и многое выводится по аналогии. Неоспоримым является существование рассматриваемых элементов в морской воде в виде чрезвычайно разбавленных растворов. Содержания металлов выражаются, в лучшем случае, тысячными, чаще десятитысячными и миллионными долями мг/литр и, как правило, весьма далеки от насыщения, по крайней мере для щелочных и щелочно-земельных элементов и для галоидов, а также некоторых металлов, имеющих устойчивые и хорошо растворимые соли / **Zn, Cu, Ni, Co, V** /.

Тем не менее, тенденции к накоплению малых элементов в морской воде нет; следовательно, должно происходить их извлечение из неё. Сорбция является главным из путей извлечения. В качестве сорбентов выступает ряд природных веществ, среди которых выделяются коллоидальные гидроокиси железа, марганца, алюминия, а также гель кремнекислоты, образующиеся попутно или вносимые в водоемы в указанном ранее виде. Экспериментально установлено, что гель $Fe(OH)_3$ извлекает из растворов **P, As, Sr, V, Pb** и др; гели гидроокисей марганца — **Co, Ni, Ba** и др; гель Al_2O_3 — титан, и гель кремнекислоты — уран. Особенностью сорбционного извлечения является необратимость процесса, во всяком случае для рассматриваемых условий извлечения.

Извлечение элементов-примесей из раствора происходит и вторым путем — соосаждением с кристаллизующейся $CaCO_3$, подобно тому как это имеет место в лаборатории. Таким образом уходят в осадок **Mg, Sr** и известная часть тяжелых металлов. Этот процесс так же является необратимым.

Чрезвычайно эффективным для круговорота "малых" элементов в море /но дающих мало для осадков/ является процесс биохимического извлечения. Хотя общее количество живой материи в океанической воде невелико /порядка 2мг/л/, однако геохимическая деятельность этого вещества весьма примечательная и далеко идущая. Особенно важным здесь надо считать способность некоторых организмов извлекать и накапливать в себе отдельные элементы в количествах далеко перекрывающих кларки в окружающем водном растворе. Так, по данным

Н.М.Страхова, в некоторых рыбах кларки концентрации относительно морской воды достигают: для магния и серы — до 3; кальция — до 13; калия — до 106; углерода — до 15800; азота — до 1276000; фосфора — до 2560000; железа — до 6500; меди — до 80 и т.д. В моллюсках те же кларки концентрации достигают: для магния — до 13; кальция — до 69; углерода — до 1850; стронция — до 92; фтора — до 6900; азота — до 107000; фосфора — до 60000; железа — до 1000; меди — до 4300. Фтор обнаруживается постоянно в раковинах некоторых брахиопод, где содержания его достигают до 1,52% по весу; он также ус- танавливается /в количествах, превышающих кларк его в морской воде/ в костях позвоночных рыб, в эмали зубов и т.п. Иод /более чем в 1000 раз выше, по сравнению с водой/ концентрируется бурьми водорослями, багрянками и др.; там же содержатся десятикратные концентрации бора.

Бром концентрируется, иногда в десятки раз выше, чем в воде, кишечно-полостными. Аналогичные случаи для отдельных представителей морской флоры и фауны установлены в отношении меди, стронция, бария и других элементов и по аналогии должны иметь место, в той или иной степени, вообще для всех элементов, растворенных в море.

После смерти организмов подавляющая их часть разлагается на дне, а металлическая нагрузка поступает снова в раствор. Таким образом, процесс биохимического извлечения оказывается, в основном, обратимым и мало эффективным в смысле перевода элементов-примесей из раствора в донные осадки. Однако нельзя не считаться с тем, что в условиях относительно небольших глубин спокойного моря, быстрого погребения органических остатков илом, часть элементов всё же сможет поступать в осадки, внося, таким образом, свою долю в сингенетичное рассеяние породы и даже создавая на узких участках зоны особенного обогащения.

Для полноты картины необходимо отметить, что для некоторых тяжелых металлов, легко гидролизующихся и переходящих в окисные соединения /например, для титана, свинца и др./, содержания в морской воде оказываются близкими к насыщению при взаимодействии растворов с окисями, и, таким образом, для них не исключена возможность выпадения из раствора чисто химическим путем. В целом судьбу "малых" элементов в море Н.М.Страхов характеризует как судьбу элементов-спутников живого вещества, природных смесей неопределенных алюмосиликогелей, гелей окисных соединений марганца, железа, алюминия и кремния, приобретающих самостоятельное значение лишь в специфических случаях. Такими являются случаи интенсивных последующих диагенетических процессов в осадках, в результате чего возникают минеральные месторождения железа, марганца, фосфоритов; простое обогащение осадков сорбированными элементами, до степени промышленных значений, приводящее к образованию безминеральных месторождений урана, ванадия, молибдена; известное обогащение базальных осадков металлами, проистекающее в результате размыва месторождений, существовавших в денудированных породах, и приводящее к возникновению вторичных ореолов рассеяния месторождений, конституционально сливающихся с образующимся

породами,

4. Группа элементов, в обычных условиях не извлекаемых из морской воды, в которую входят NaCl , KCl , MgCl_2 , MgBr_2 , MgSO_4 , CaSO_4 . Эти соединения составляют 99,6% всей солевой нагрузки океанской воды и устойчиво существуют в растворенном состоянии, не осаждаясь и не извлекаясь организмами.

Все изложенное выше касается преимущественно химического выветривания пород на водосборной площади или на площади размыва пород морем.

В этом случае, вне зависимости от взаимоотношения растворенных и сорбированных частей, все благоприятствует обеднению прибрежных /более грубозернистых/ песчаных пород железом, марганцем и "малыми" элементами и, наоборот обогащению ими пород глубоководных, тонкозернистых-глинистых, мергелистых, карбонатных. Немалое значение в этом процессе имеет сортировка отлагающегося материала - чем она совершеннее, тем резче подчеркивается разница в содержаниях малых элементов в ряду песчаники, алевроиты, глины /аргиллиты/ и наоборот.

Если же на водосборной площади преобладает физическое выветривание, то химические элементы, в том числе особенно интересующие нас металлические элементы-примеси, будут перемещаться совместно с обломками терригенных пород и минералов или со взвешями этих последних, сохраняя соотношения, присущие ассоциациям в неразрушенных породах.

В результате, повышенные содержания элементов примесей будут приурочены к более грубозернистым прибрежным отложениям. Заметим, что отдельные элементы, доколе мигрировавшие совместно, могут распределяться по разному в различных фашиальных разностях одновременно образующихся пород, в зависимости от приуроченности того или иного элемента к различным гранулометрическим разностям и степени сортировки отложений.

Таким образом, заключает Н.М.Страхов, кривые распределения элементов по петрографическим типам осадочных пород, входящих в формацию, есть результат соотношений масс элементов, переносимых в виде растворов и взвесей, распределения элементов по различным гранулометрическим фракциям взвесей и степени сортировки переносимого материала во время отложения.

Все приведенное имеет касательство к подготовке самого процесса осадкообразования. Однако, прежде чем стать настоящей осадочной породой, выпавшие на дно водоема осадки - обломки пород и минералов; гелевые сгустки гидроксидов Fe , Mn , Al с сорбированными ими веществами; отмершие и живые бактерии; органическое вещество; скелетные остатки раковин; вода с растворенными в ней солями, пропитывающая осадок - должны пройти еще долгий путь превращений. На этом пути главным является диагенез.

Под диагенезом в широком смысле слова понимается процесс, вернее ряд процессов, благодаря которым первоначальный рыхлый донный осадок превращается в нормальную осадочную породу. Если проследить судьбу какого-либо слоя осадков, то нетрудно видеть, что диагенетические процессы преобразования

возникают в нем практически с момента образования слоя и заканчиваются обезвоживанием под давлением перекрывающих слоев, мощностью в сотни метров. Общая схема процессов преобразования, по Н.М.Страхову, имеет следующий вид:

Окислительный этап - глубина погружения - 0 - /25-40/ см;

Восстановительный /сульфидный этап/ - глубина погружения - 40 см - /10-15/ м /?/

Зона перемещения и перераспределения вещества - глубина погружения - /10-15/ м - п·10 м;

Зона литификации - глубина погружения - п·10 м - 300 м.

Этапы первой и второй схемы входят в процесс раннего диагенеза, по существу определяющего весь ход дальнейшего преобразования. Особенно показателен диагенез в илито-глинистых отложениях. Здесь характерными чертами обстановки течения диагенеза, по Н.М.Страхову, являются:

1. Высокая влажность. Она особенно высока в первых верхних сантиметрах осадков /70-40% на глубинах 0-20-30/см и сохраняет значение выше 35% еще до глубин 18-27 м. Нормальной, соответствующей породам, влажность становится на глубинах около 300 м.

2. Бактериальная насыщенность. Она особенно высока на первых сантиметрах и несколько обедняется на глубине 20-30 см. С глубины 1 м и далее в осадках наблюдаются лишь активные ферменты разложения бактерий.

3. Неоднородность физико-химических условий по вертикали. Сверху, от 0 до 20-40 см, условия окислительные, с существованием свободного кислорода. Ниже до глубин несколько метров /10-15 м?/, царит восстановительная обстановка, особенно ярко выраженная в промежутке от конца окислительной зоны и до глубины 2 м. Характерной особенностью здесь является недостаток кислорода и наличие свободного H_2S .

Водные растворы, пропитывающие осадки в рассматриваемых пределах, получили название грунтовых растворов. По данным исследованию в Каспийском море, они характеризуются, особенно ниже зоны, содержащей свободный кислород, своеобразными особенностями, резко отличающими их от придонной морской воды.

Главный фактор формирования состава грунтовых растворов Н.М.Страховым усматривается в жизнедеятельности грунтовых бактерий. Именно в результате этого масса отмершего органического вещества, падающего на дно, убывает, а раствор обогащается сероводородом; помимо этого - сульфобактерии перерабатывают ион SO_4^{-2} в H_2S . Таким образом, наряду с потерей кислорода на окисление углерода разлагающихся органических осадков, и возникает восстановительная сероводородная среда.

В условиях этой среды окисные соединения железа и марганца, в виде которых эти элементы существуют/и выпадают/ в кислородной обстановке, перестают быть устойчивыми и переходят в соединения закиси. Так как последние обладают повышенной растворимостью, то концентрация раствора здесь повышается. Одновременно переходят в раствор и сорбированные окисями Fe и Mn

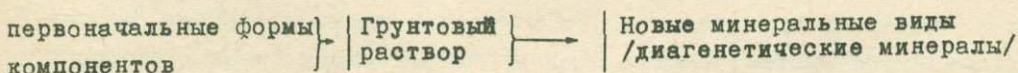
"малые" элементы — Cu, Zn, Ni, Co, V, P, Rb и др. Одновременно концентрации последних элементов усиливаются в результате разложения органического вещества, в составе которого они присутствуют, а также вероятной десорбции их в подобных условиях из механически осевших мути и взвесей.

Можно думать, что аналогично железу и марганцу, наряду с "малыми" элементами, в грунтовом растворе накапливаются и соединения фосфора/главным образом из разлагающейся органики/, алюминия, кальция, магния и кремнекислоты. В результате и возникает то, что называется грунтовым раствором, относительно которого Н.М.Страхов говорит, что "его специфику составляет не только гораздо большая, чем в наддонной воде концентрация малых компонентов, но и то, что, по крайней мере в тонкозернистых, слабопромываемых осадках, многие "малые" компоненты достигают, по-видимому, состояний насыщенных растворов".

В соответствии с особенностями подобных растворов должно наблюдаться выпадение компонентов в осадок в виде природных химических соединений — минералов новообразований, т.е. в форме совершенно иной, чем рассматриваемые элементы были внесены в осадок. Конкретно, среди минералообразований установлены сульфидные и карбонатные соединения солей закиси железа и марганца /сидерит, анкерит, родохрозит, олигонит, пирит, пирротин, алабандин/; силикаты железа и марганца/ закисного железа — лептохлориты окисного — глаукоциты и др./; карбонаты кальция и магния/кальцит, арагонит, доломит/; многие глинистые минералы /монтмориллонит, бейделлит, палыгорскит, возможно иллит/, а также халькопирит и другие сульфиды, цеолиты, полевые шпаты, барит, стронцианит и т.п.. Заметим, что образование сульфидов ряда металлов может идти без их перевода в раствор, путем "срывания" сероводородом металла с поверхности сорбента, подобно отмеченному Ф.П. Чухровым /25/ относительно образования гипса путем воздействия иона SO_4^{-2} на сорбированный глиной кальций и предположенному Е.В.Рожковой и О.В.Шербак /26/ образованию галенита в результате воздействия H_2S на сорбированный свинец.

Нет никаких сомнений в том, что все минералы новообразования захватывают в той или иной форме, и тем или иным способом, элементы-примеси из раствора, совершенно подобно тому, что имеет место при образовании магматических и прочих минералов из расплавов и постмагматитов. Таким путем в образующиеся породы и вносятся известная часть сингенетического рассеяния.

Процессы, приводящие к новообразованиям минералов, могут быть охарактеризованы словами Н.М.Страхова: "Когда в грунтовом растворе в силу накопления различных компонентов некоторые комбинации их достигают состояний насыщения, они осаждаются, образуя новые минеральные виды, доселе в илу не существовавшие". Общее уравнение реакции записывается так:



Как показали наблюдения над поведением железа в Черноморских осадках, последнее, хотя и вносится туда на 96-98% в виде механических взвесей и мутей гидрогетита /а не выпадает непосредственно из морской воды/, тем не менее принимает участие в диагенезе. Поэтому под первоначальными формами компонентов, на которые распространяется процесс диагенеза, надо понимать все формы, в виде которых элемент вносится в осадок, за исключением, вероятно, лишь формы твердых растворов в решетках устойчивых первичных минералов.

Рассмотренные процессы раннего диагенеза при дальнейшем погребении осадков переходят в стадию позднего диагенеза /третий этап вышеприведенной схемы/, когда новообразований не происходит, но идет перераспределение и перемещение вещества, приводящее к образованию крупных стяжений — конкреций.

Как показывают наблюдения, подобное перераспределение захватывает не только литологически однородные слои, о чем свидетельствует установленный местами уход карбонатов тяжелых металлов из глинистых слоев в цемент вышележащих песчаников, т.е. оно происходит не только по горизонтали, но и по вертикали.

Представленная картина была бы неполной без вовлечения в рассмотрение тех сведений по изотопному разделению, которые уже накоплены и рассмотрены в книге К. Ранкама /27/ и кратко изложены у Н.И. Сафронова /28/. Напомним основные положения, отсылая за более подробными сведениями к указанным источникам.

Так в осадочных известняках, современных карбонатных осадках, осадочных карбонатных минералах происходит накапливание тяжелого изотопа углерода C^{13} . Поскольку константы равновесия реакций обмена изотопами между газообразной угольной кислотой и радикалом угольной кислоты в растворе обратным образом зависят от температуры, представляется возможность использовать соотношение содержаний $C^{13} : C^{12}$ в качестве геологического термометра для определения температуры образования исследуемых осадков или карбонатных минералов неясного происхождения.

Аналогичным образом, для тех же целей, может быть использовано установленное накопление, с обратной температурной зависимостью константы равновесия реакции, тяжелого изотопа кислорода в осадочных карбонатных, сульфатных и фосфатных образованиях.

Наконец, имеются данные о повышении содержаний легкого изотопа серы в биогенной сере и сульфидах из осадочных пород /пирите, марказите/, что может быть использовано для определения генезиса этих минералов в сомнительных случаях. Одновременно следует ожидать разделения изотопов при перемещении вещества при диагенезе, с обгоном легкими изотопами тяжелых. Использование этого обстоятельства, как показано ниже в теории первичных ореолов постмагматических месторождений, должно помочь, в ряде случаев, установлению направлений и путей миграции.

Заметим, что в области использования изотопического анализа в геологии, в частности при исследовании осадочных образований, сделано пока еще очень немного.

Если "сырые" осадки особенно богаты теми или иными компонентами, а диagenез выражен очень резко, то могут образоваться промышленные скопления руд. Именно таким путем, вероятно, и образовались, по Н.М.Страхову, сидеритовые и родохрозитовые руды и залежи желвачных фосфоритов.

Завершаются оба процесса диагенеза литификацией осадка, сводящейся, главным образом, к "выдавливанию" воды весом вышележащих толщ с приведением ее содержания к нормальному уровню. Одновременно происходит дегидратация минералов, содержащих кристаллизационную воду.

Все изложенное выше касается образований нормально осадочного типа — основных в рассматриваемой группе. В последние годы, в связи с решением проблемы рудообразования, возник и развивается особенный интерес к вулканогенно-осадочному процессу.

Вулканогенно-осадочные образования возникают в результате подводных или надводных вулканических извержений, среди которых особое значение для наших целей имеют первые. Согласно Н.М.Страхову /24/, результатом каждого цикла подводного извержения оказывается вулканогенно-осадочная линза. Характерной чертой этой линзы является закономерное распределение в ней составляющих частиц по их крупности. Именно, ближе к очагу извержения размещается крупный, несортированный материал /бомбы, лапилли/, далее более мелкий, пескообразный, со следами сортировки и, наконец, по периферии — сортированный лепловый, переходящий затем в нормально-осадочные отложения. По своему общему петрохимическому составу вулканогенно-осадочный материал представляет механически выносимые частицы тех или иных вулканических пород, не подвергнувшиеся поверхностному выветриванию.

Это обстоятельство позволяет сделать первый вывод относительно геохимии рассматриваемых образований: геохимические особенности вулканогенно-осадочных пород должны быть близкими к рассматриваемым особенностям соответствующих вулканических пород и, на этом основании, должны закономерно отличаться от геохимических особенностей вмещающих их нормальных осадочных образований.

Основываясь на изучении продуктов излияний современных вулканов, можно утверждать, что поступление в водные массы твердого вулканического материала сопровождалось одновременным привнесением гидротерм и эманаций, обогащенных кремнекислотой, разнообразными металлическими элементами и газообразными продуктами /CO, CO₂, HCl, SO₃, H₂S / . Это не могло не привести к более или менее резкому изменению геохимической обстановки в водных массах в районе извержения, а, следовательно, и к наложению на образующиеся вулканогенные осадочные толщи дополнительных геохимических особенностей.

Согласно Н.М.Страхову /24/, вблизи очагов извержения содержание свободного кислорода в воде падает, в то время как содержание свободного серо-

водорода растет. Указанное благоприятствует осуществлению соответствующих химических реакций, в результате которых в осадки выпадают минеральные новообразования. В частности, в зоне обеднения кислородом выпадают силикаты и карбонаты железа и марганца, а в зоне обогащения сероводородом — сульфиды железа и цветных тяжелых металлов. Кроме того в периферической зоне выпадения пепловых осадков, при условии заражения вод гидротермами, должно происходить обогащение выпадающей иловой фракции тяжелыми металлами за счет сорбции их илами из водных растворов. Изложенные обстоятельства позволяют сделать второй вывод относительно геохимии рассматриваемых толщ: вулканогенно-осадочные породы должны быть дополнительно обогащены рудообразующими элементами в результате выпадения минеральных новообразований химического происхождения и сорбции упомянутых элементов иловой фракцией.

При этом минеральные новообразования должны располагаться вблизи центра извержения, тогда как иловые фракции, обогащенные сорбированными металлами, будут тяготеть к периферийным участкам.

Следует ожидать, что чем выше нормальный геохимический фон вулканогенно-осадочных пород, тем выше вероятность встречи внутри их рудных месторождений аналогичного происхождения.

Главным видом существования подавляющего числа элементов, особенно металлических и их спутников, в сингенетичном рассеянии в осадочных породах будет безминеральный в формах твердых и жидких растворов в горных породах, в том числе, — в минералах-новообразованиях петрогенических элементов, возникающих при диагенезе; в сорбированном состоянии в многообразных природных органогенных и минерогенных сорбентах; в рассеянии в растительных и животных остатках. Наряду с этим необходимо ожидать нахождения некоторых элементов — Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Pb, Cu, P и других в виде собственных диагенетических минералов.

Изложенное достаточно полно освещает закономерности возникновения сингенетичного рассеяния в осадочных образованиях, безусловно приводящих к дифференциации его особенностей в зависимости от пород и, на этом основании, обосновывает возможность использования рассматриваемого рассеяния в прикладных целях.

Б. Примеры практики

Н.А.Хрущев в 1956 г. в своем докладе на Читинской конференции геологов-съемщиков и поисковиков по типам молибденовых месторождений /29/ привел весьма интересные данные о существовании промышленных месторождений урана-ванадия-молибдена в кремнисто-углисто-глинистых сланцах кембро-силурийского возраста. Упомянутые металлы в указанных сланцах находятся в безминеральном виде, в небольших количественных содержаниях, но представляют промышленный интерес благодаря простой технологии извлечения. Приведенное вполне можно рассматривать как случай сингенетичного рассеяния в осадочной породе, возникшего в результате сорбции осаждающимися природными органи-

минеральными сорбентами урана, ванадия и молибдена из водных растворов бассейна отложения, куда эти металлы могли попасть разными путями.

К аналогичным образованиям необходимо отнести убогие, но имеющие промышленную значимость, примеси урана в некоторых фосфоритах, ванадия — в железных рудах, германия—в каменных углях и т.д., проявляющиеся, как правило, в безминеральной, неопределяемой без химического анализа, форме. Есть основания полагать, что подобные безминеральные формы рассеянного существования элементов в природе, тем не менее не лишены практического значения, являются значительно более распространенными, чем об этом привыкли думать. В соответствии с этим, систематические исследования первично-конституционального рассеяния в осадочных породах, особенно несущих в своем составе природные органико-минеральные сорбенты, приобретают практический, чисто-поисковый смысл.

При этом сознательно упускаются из вида различные и многообразные минеральные месторождения осадочного происхождения, рассмотрение чего не входит в задачу настоящей работы.

Работами А.А.Хаффа /30/ в районе Джером /Аризона/ выявлен весьма примечательный случай геохимического рассеяния, имеющий прямое отношение к методике поисков глубокопогребенных рудных месторождений.

В рассматриваемом районе геологическая обстановка является типичной для всех щитов. Фундамент представлен сильно дислоцированными докембрийскими лавовыми потоками и туфами, интродуцированными порфирами, джоритами и диабазами. В породах фундамента залегают и рудные тела, очевидно того же докембрийского возраста. Рудные тела, трубообразные по форме, представлены практически сплошными сульфидами меди и цинка с примесью галенита; они выходят на поверхность фундамента.

На размытой поверхности фундамента практически горизонтально залегают палеозойские породы, общей мощностью до 700 м, представленные, в основном, известняками и сланцами, с аркозовыми песчаниками небольшой мощности в основании /в среднем 16,5 м/. Нет сомнений, что упомянутый песчаник произошел в результате размыва докембрийского фундамента. Местами породы фундамента и базальный песчаник вскрыты эрозией. Геохимическое опробование показало, что в районе известных рудных тел на большой площади /максимальное удаление 3,2км/ базальный песчаник "заражен" медью /содержания Cu от 0,01 до 0,027%, против 0,0005—0,002% фоновых/ и цинком /содержания Zn более 0,01% против 0,005—0,003% фоновых/, а в непосредственной близости к месторождениям — и свинцом.

Указанное явление следует рассматривать как ореольное обогащение песчаников перечисленными элементами, имевшее место в процессе образования песчаника и происшедшее за счет рассеяния меди, цинка и других элементов при размыве рудных тел. Другими словами, выявленная геохимическая аномалия — это древний вторичный ореол рассеяния рудных тел Джерома, прочно вошедший в конституциональный состав песчаника.

Приведенный пример является весьма поучительным в том отношении, что

заставляет смотреть на геохимическое опробование базальных слоев как на средство поисков оруденения в подстилающем фундаменте. С этой точки зрения, в качестве первоочередных работ подобного направления, необходимо наметить опробование гдовских песчаников, залегающих в основании отложений глинта, в особенности на участках обрамления массива рапакиви. Как известно, с этой интрузией генетически ставят в связь месторождения Питкаранта и Кават-Ярви, залегающие в докембрии.

Своеобразной работой поисковой направленности являются исследования А.М.Лурье, проведенные им в Центральном Каратау /31/. Целью этих исследований являлось, путем геохимического опробования пролить свет на генезис свинцово-цинковых телетермальных месторождений. Район работ был выбран в 15-20 км к северу от Миргалимсайского рудного поля, относящегося к подобному классу; общие геологические черты строения обоих участков схожие, за исключением того, что в районе работ были неизвестны промышленные рудопроявления свинцово-цинковой минерализации. В обоих районах проявления интрузивной или эффузивной деятельности отсутствовали.

Геохимическому опробованию подверглись нижнесилурийские песчаники, глинистые сланцы, залегающая на них несогласно песчаниковая свита среднего и верхнего девона /?/ и карбонатная толща верхнего девона и нижнего карбона. Отобранные пробы исследовались спектральным методом на содержание в них Pb, Zn, Ag, Cu, Ba, Mn, Fe, Ti, V, Ni, Co, Mo.

На основании результатов исследований автор делает выводы:

1. Часть пород исследованного района выделяется повышенными содержаниями Pb, Zn, Ag. Содержания Pb в большинстве своем характеризуются сотыми долями % и поднимаются местами до десятых долей %, причем, под микроскопом устанавливаются зерна рассеянного галенита /диагенетический галенит/?/; Zn содержится в ряде проб свыше 0,1%; содержания Ag превышают 0,001%.

2. Внесение указанных элементов в породы имело место в процессе осадкообразования.

3. Между содержаниями элементов в исследованном районе и в рудном теле Миргалимсая имеется только количественная разница, что, как подчеркивает А.М.Лурье, должно учитываться при решении вопроса генезиса месторождения.

Начиная с 1949 года, в спектральной лаборатории Геолого-разведочного управления бывшего треста Дальстрой проводились систематические спектрально-аналитические исследования минерального сырья территории Крайнего Северо-Востока ССР на предмет выявления примесей рассеянных и редких элементов. В процессе этих работ автором данного труда было установлено, что зола ряда углей Алданского бассейна, образцы которых были предоставлены из коллекций геологов, работавших в упомянутом районе, характеризуются различными содержаниями акцессорных элементов, например, Co, Be, Cu, Zn реже Ge и т.д. Одновременно было подмечено, что геохимическая гамма элементов-примесей в различных угольных пластах характеризуется достаточно резкими индивидуаль-

ными особенностями, позволяющими ставить вопрос об использовании этих особенностей для целей геологической корреляции различных разрезов Алданского бассейна. Этот вывод казался тем более важным, что угольные пласты в рассматриваемом районе залегают в породах большой фациальной изменчивости, непостоянства мощности, состава и строения, и сами по себе не отличаются особенной выдержанностью как по мощности, так и по простиранию.

В соответствии с этим И.И.Тучковым /32/, одним из ведущих геологов этого района, была предпринята попытка использовать систематическое геохимическое исследование зоны углей непосредственно для геологического сопоставления угольных пластов. Для этих целей им были отобраны 80 проб угля из пластов, выходящих на поверхность в обнажениях или пересеченных скважинами. Исследованные обнажения тянутся цепочками по рекам Амге и Алдану на протяжении /по прямой линии/ до 50 км по каждой реке, при взаимных расстояниях между цепочками от 40 до 80 км. Таким образом исследования были проведены по площади порядка 3000 кв.км. После озоления при температуре красного каления, зола углей подвергалась спектроанализу в упоминавшейся лаборатории ГРУ Дальстроя.

Хотя спектроанализ выполнялся на широкую гамму примесей—порядка 46 элементов, обоснованные суждения удалось вынести только по II характеристическим элементам—примесям / V, Co, Cu, Zn, Ga, и др. /.

Эти выводы, по И.И.Тучкову, следующие:

1. Состав редких элементов в угленосных отложениях резко меняется по разрезу; нередко даже стратиграфически близко расположенные угольные пласты имеют несколько отличный состав редких элементов.

2. Наблюдается большая выдержанность одинакового состава элементов по простиранию угольного пласта.

Указанные выводы подкреплены рядом примеров. В частности указывается, что в одном из обнажений по р.Амге уголь из пласта Среднего, залегающего всего несколько метров выше пласта Нижнего, резко отличается от угля последнего отсутствием висмута и неодинаковыми содержаниями кобальта и цинка.

В то же время этот же Средний пласт по геохимической гамме элементов—примесей прекрасно параллелизуется со стратиграфически отвечающими ему пластами Четвертым из месторождения Джебарики—Хая и пластом из обнажения по р.Алдану, несмотря на взаимные расстояния точек наблюдения, равные 80 км.

3. Полученные данные весьма показательны и должны привлечь серьезное внимание специалистов к геохимическому методу, как новому, весьма результативному средству, облегчающему корреляцию угольных пластов.

С.М.Катченков в своей статье /33/, опубликованной в 1953 году, приводит примеры выполненных им геохимических исследований осадочных толщ в районах Северо-Запада Русской платформы, Самарского Заволжья и Северо-Восточного Кавказа и на основании результатов этих исследований приходит к следующим основным выводам:

1. Метод геохимической корреляции должен найти широкое применение в

практике нефтяной геологии, особенно при расчленении немых толщ, опорном бурении и т.п.

2. В качестве корреляторов можно использовать качественные спектроопределения содержаний отдельных элементов, изменения в их количественных содержаниях, а также величины отношений содержаний родственных пар. Конкретно, для корреляции осадочных образований в исследованных им районах, С.М.Катченковым рекомендуется, в первую очередь, использовать Sr, Ba, V, Ni, Co, Cu, Pb, Sn, Mn, Cr, Ga, Ge и иногда K, Ti, P.

Для отложений кембрия, силура и девона Северо-Запада Русской платформы корреляторами явились Cu, V, Cr, содержащиеся по всему разрезу девона и кембрия и малохарактерные для силура.

Для Самарского Заволжья было установлено, что в одних и тех же горизонтах в разных разрезах наблюдается обогащение Sr, Ba, Fe, Mn, Ni, Cr, V и др. В частности, для уфимских отложений перми этого района прекрасными корреляторами явились Cr, Ni, V, присутствующие в них, но отсутствующие в нижележащих кунгурских и артинских, а также вышележащих казанских отложениях. Одновременно в этом же районе Заволжья при помощи спектроанализа были выявлены в кунгурском и артинском ярусах и уфимской свите маркирующие горизонты, мощностью 5-10 м, примечательные по богатству стронцием, в то время как во вмещающих эти горизонты слоях содержания стронция были минимум на один математический порядок ниже.

В районе северо-восточного Кавказа было установлено, что юрские отложения в целом резко выделяются повышенными содержаниями V, Cu, Ti, Zr, Na, Mg, Ba среди других мезозойских, и по сравнению с третичными отложениями, в то время как повышенные значения Ca и Sr характерны для мела и верхов юры.

3. Размеры площадей, на которые может распространяться метод геохимической корреляции, по данным С.М.Катченкова, заключены в пределах от нескольких десятков до многих сотен квадратных километров: в ряде случаев отдельные особенности могут иметь региональное распространение, что было, например, установлено для одного из стронциевых маркирующих горизонтов, названного целестиновым.

В одной из своих последующих статей /34/ развивая ранее сделанные выводы, С.М.Катченков привлекает внимание к распределению элементов в палеозойских глинах Волго-Уральской области. На основании результатов спектроанализа 279 образцов глинистых пород, отобранных систематически из отложений ряда свит девона, нижнего и среднего карбона, нижней и верхней перми /с пропуском некоторых горизонтов, по которым не было ядерного материала/, С.М.Катченков приходит к следующим выводам:

1. Вариации в составе и содержаниях элементов устанавливаются всюду при переходах от системы к системе, от отдела к отделу и от яруса к ярусу, однако эти вариации разного порядка.

2. Вариации первого порядка, сказывающиеся на меньшем числе элементов, имеют место при переходе от глин одной системы к глинам другой. Так содержания Na возрастают при переходе к карбоновым слоям в 1,6 раза, а при переходе к пермским — в 1,9 раза, по сравнению с содержаниями его в девонских отложениях. Аналогичным образом возрастают содержания Sr , Mg , Ca . В то же время содержания K , Zr и Ti максимальны в девонских глинах; в них же несколько выше и содержания Ba . В глинах карбона Mn в два с лишним раза меньше, а Cr и V — несколько больше, чем в глинах девона и перми.

Указанные соотношения отчетливо проявляются на отношениях содержаний пар элементов.

3. Более резкие вариации второго порядка наблюдаются при сопоставлении содержаний элементов в глинах различных отделов и ярусов. В частности, в глинах бавлинской свиты девона наблюдается накопление Na , Mg , Sr , Ba и обеднение V , Cr , Cu по сравнению с глинами живетского и франского ярусов, тогда как глины франского яруса обогащены Na , Mg , Sr , Ba , Cu , Ni и обеднены Cr , по сравнению с глинами живетскими.

Резко разнятся содержания Na , Mg , Mn , Sr , Ba , V , Cr , Ni , Cu в глинах нижнего карбона, по сравнению с верхнекарбонными, нижней перми относительно верхне-пермских, а также в различных горизонтах пермских отложений.

4. Таким образом, содержания отдельных элементов и отношения содержаний пар элементов, близких по физико-химическим свойствам, в глинах палеозоя Волго-Уральской области могут вполне использоваться для корреляции разрезов, а также для выяснения условий осадконакопления.

А.А.Арсеньев и Е.А.Нечаева в статье /35/ излагают результаты спектрохимического изучения нижнепалеозойских пород среднего течения р.Вилля, произведенного ими в 1950–51 гг.

Исследованию были подвергнуты монотонные осадочные породы силура, представленные доломитами/нормальными, песчанистыми и известковистыми/, известняками/в том числе органогеновыми, доломитовыми и глинистыми/, мергелями, песчано-глинистыми сланцами, песчаниками, конгломератами и глинами. Все породы подразделены на четыре свиты—/снизу вверх/: устькутскую, кривоуцкую, менскую и вилючанскую.

Общие выводы авторов на основании проделанных ими работ следующие:

1. Некоторые представители из установленной геохимической гаммы элементов, как например, Cu /особенно/, Ni , V , Pb , Ga являются "проходящими", т.е. присутствующими во всех породах изученного силурийского разреза.

Другие элементы ведут себя в отдельных свитах силурийского разреза по-разному — либо вовсе не улавливаясь, либо присутствуя в кларковых содержаниях, либо обогащая осадки в заметных количествах.

2. Элементами-индикаторами, присутствующими в содержаниях заметно повышенных против кларковых, являются:

- а/ для устькутской свиты — Pb , Ga , Cr , Co , Ni , Ba , Sr .
- б/ для кривоуцкой свиты — Pb , Ga , Y , Yb .

в/ для менкской свиты - Sr, Pb, Ga.

г/ для вилучанской свиты - Y, Yb, La, Pb, Ga, Mo /особенно Y и TR /. Таким образом, каждая из свит имеет свой собственный геохимический облик, что своеобразным путем подтверждает правильность принятого стратиграфического деления.

3. Преимущественной приуроченности элементов к литологическим разностям пород не было установлено и, наоборот, главное значение в распределении элементов имел возрастной стратиграфический контроль. Поэтому авторы заключают, что в обогащении отдельных образований элементами-примесями главное значение имели общие особенности водного бассейна эпохи отложения, его гидродинамические и гидрохимические факторы.

В заключение А.А.Арсеньев и Е.А.Нечаева высказывают предположение, что результатами изучения элементов-примесей в породах можно будет пользоваться при корреляции разрезов и определений относительного возраста осадочных образований.

В статье Н.М.Страхова, Э.С.Залмансона и М.А.Глаголевой /23/, авторы обращают внимание на то, что в геохимии осадочных образований играют роль самые различные факторы, а именно: характер выветривания в бассейне сноса, соотношение взвешенных и растворенных масс элементов, распределение элементов по гранулометрическим фракциям взвесей, условия сортировки материала при отложении и т.п. Эти свои основные положения авторы прилагают к анализу результатов геохимического изучения распределения рассеянных элементов в осадочных толщах ряда районов СССР, произведенного ими, и делают ряд далеко идущих выводов.

В качестве геологических объектов изучения были выбраны образования гумидных зон древних геологических эпох, а именно: угленосные отложения одной из свит Донбасса; шесть свит угленосных отложений Караганды; две свиты угленосных пород Кузбасса; некоторые отложения Второго Баку. При помощи химического и полуколичественного спектрального анализ в перечисленных отложениях было изучено распределение 15 элементов: Fe, Mn, P, C_{орг}, V, Sr, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Ba, Sr, Be, Ga.

На основании результатов подобного исследования удалось выделить три основных типа распределения перечисленных элементов-примесей.

I. Характерной особенностью первого типа распределения является пестрота содержаний, выражающаяся в том, что кривые распределения средних содержаний у одних элементов имеют минимум в песчаниках, а у других, близких по физико-химическим качествам к первым - в аргиллитах. В то же время, один и тот же элемент может по-разному распределяться в отложениях одинаковых фаций.

Исходя из общих закономерностей, управляющих геохимическими процессами при осадконакоплении и подробно изложенных в книге Н.М.Страхова и др. /22/ и в его же монографии /24/, авторами усматриваются две причины означенной выше пестроты содержаний: недостаточность химического выветривания на пло-

ладах размыва и малая сортировка рыхлого материала при отложении. Указанное объяснение выглядит полностью справедливым, поскольку рассматриваемый тип распределения установлен и в осадочных породах Караганды/песчаниках, алевролитах, аргиллитах/, фацциально относимых к отложениям дельта, конусов выноса, небольших озер, лагун и морского прибрежного междоморья.

2. Характерной особенностью второго типа распределения является закономерность в изменениях содержаний, выражающаяся в увеличении их практически для всех пятнадцати исследованных элементов в ряду песчаники-алевролиты-аргиллиты и в уменьшении - в ряду аргиллиты-мергели-известняки. Особняком стоит стронций, концентрация которого максимальна в известняках.

Руководствуясь соображениями, упомянутыми выше, авторы видят причины возникновения рассматриваемого типа распределения элементов в значительности химического выветривания на площадях эрозии и в отложении осадков в морских водоемах, благоприятствующих сортировке. Указанное объяснение также является вполне приемлемым, поскольку установлено в морских угленосных формациях Донбасса и Кузбасса.

3. Характерной особенностью третьего типа распределения является некоторое обеднение элементами-примесями песчаника и, наоборот, известное обогащение ими /особенно Mn, Fe, Cu, Sr / пелагических пород типа мергелей, глинистых известняков и чисто карбонатных пород.

Указанное обстоятельство объясняется авторами как резкое преваширование химического выветривания на водосборных площадях с переводом в раствор большинства элементов /особенно Mn, Fe, Cu, Sr / в условиях идеальной сортировки при осадкообразовании, происходившем в обширном морском водоеме, размеры которого обеспечивали беспрепятственный вынос элементов к центральному его участку. Указанное объяснение полностью согласуется с тем, что известно о геологических условиях образования платформенных отложений Второго Баку и морских новомосковских и тульских осадков той же территории, в которых установлен рассмотренный тип распределения элементов-примесей.

В. Выводы

Приведенные общие соображения и иллюстрирующие их примеры практики позволяют утверждать, что сингенетичное рассеяние в осадочной породе несет в себе особенности, связанные, во-первых, с породой, как таковой, т.е. с минеральным составом ее, отношением к вулканизму, фацциальными условиями отложения, степенью диагенеза и т.п., и во-вторых - с водным бассейном, в котором происходило отложение, т.е. с его характером, сезонным режимом, составом фауны и флоры, их развитием и т.п.

Поэтому рассматриваемое рассеяние каждой породы, с одной стороны, будет строго индивидуальным, а с другой - обладающим некоторыми общими чертами с рассеянием в образованиях различных фацций одного и того же бассейна. В результате, всесторонние качественно-количественные исследования нормаль-

ного первично-конституционального рассеяния в осадочных породах в состоянии помочь решению ряда практически важных геолого-поисковых задач, в частности таких как:

1. Расчленение палеонтологически немых толщ, идентификация разрозненных выходов одной и той же породы и различение внешне похожих образований, путем выявления и сравнительного изучения геохимических ассоциаций рассеянных элементов.

2. Установление геохимических маркирующих горизонтов путем выявления приуроченных к ним ярковыраженных и устойчивых геохимических особенностей.

3. Прослеживание стратиграфических горизонтов среди разнофациальных отложений на основании сходства свойственных им рассеянных элементов в части тех из них, которые поступают в породы из вод бассейна отложения.

4. Установление геологической обстановки, в которой протекал весь процесс подготовки рыхлого материала и его отложения в водных бассейнах, на основании изучения особенностей распределения в осадочных породах отдельных рассеянных элементов или их групп.

5. Выявление вулканогенно-осадочных линз по признаку повышения в них содержания рудообразующих элементов гидротермального ряда.

6. Оценка перспективной рудоносности вулканогенно-осадочных линз, в части отдельных элементов, по признаку особенного обогащения их искомыми рассеянными элементами.

7. Выявление месторождений, непосредственно связанных с осадочными образованиями, особенно безминеральных.

8. Выявление месторождений по их вторичным ореолам рассеяния, наложившимся на базальные породы во время их образования в результате одновременного размыва ранее существовавших месторождений и ставшими конституционально-составными частями осадочных пород.

9. Исследование изотопного состава углерода и особенно кислорода морских отложений, позволяет установить некоторые физико-химические условия отложения осадков, в первую очередь температуру. На этом же основании представляется возможным установление в сомнительных случаях генезиса образований.

§ 3. Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рассеяние /нормальный геохимический фон/ в метаморфических горных породах

А. Определение и общие сведения

Как известно, в первооснове метаморфических пород лежат изверженные или осадочные образования. Будучи подвергнуты воздействию тех или иных природных агентов — одностороннего или гидростатического давления, повышенной температуры, горячих или минерализованных вод и газов — каждого порознь или в их комбинациях друг с другом —, указанные образования претерпевают изменения той или иной степени интенсивности и, в конечном итоге, переходят в породы, называемые метаморфическими.

Одна из больших задач, которую приходится решать при исследованиях в полях метаморфических пород, есть установление их первоначального генезиса. В указанном отношении представляется полезным использование закономерностей первично-конституционального рассеяния. В этой связи, с геохимической точки зрения, возможно ограничиться рассмотрением двух главных разновидностей метаморфизма — метаморфизма без привноса какого-либо вещества извне в метаморфизируемые породы и метаморфизма с привносом /или уносом/.

При метаморфизме без привноса, классическим примером которого может служить динамометаморфизм /с образованием в результате расслаивания пород на месте массивных/ никаких количественных изменений в гамме элементов сингенетичного рассеяния, против исходной, ожидать нет оснований. Максимум, что может произойти при этом — это некоторое внутреннее перераспределение вещества в пределах тех же элементарных объемов, поскольку, как известно, даже при одном динамометаморфизме возможны новые минералообразования, по составу не отличающиеся от исходных, но по форме более приспособленные к специфическим условиям. Если будет иметь место /одновременно с динамометаморфизмом или самостоятельно/ термометаморфизм, мы вправе ожидать некоторого разделения изотопов, в согласии с закономерностями термодиффузии. Тем не менее коренных изменений в нормальном первично-конституциональном рассеянии быть не должно, и, на этом основании, простое исследование сингенетичного рассеяния метаморфических пород, вполне может быть привлечено в качестве действенного средства для установления первоначального генезиса пород.

Другое дело метаморфизм с привносом /или уносом/, классическим примером чего может служить метасоматоз. В этом случае подвергающиеся метаморфизму породы не только меняют свою первичную структуру и текстуру, свой облик, но и свой начальный химический состав. Естественно ожидать, что коренной перестройке будет подвергнут и общий характер геохимической ассоциации, входящей в первоначальный состав сингенетичного рассеяния.

Таков, например, процесс регионального метаморфизма, особенно резко проявляющийся в геосинклиналиях. На этих участках, при все более и более глубоком захоронении исходных осадков, и давление и температура не-

прерывно растут. В результате минеральные и геохимические ассоциации, свойственные первоначально низким температурам и давлению, теряют свою устойчивость, а летучие компоненты и молекулы, и атомы с высоким удельным объемом стремятся переместиться в более высокие области.

При очень высоких температурах и давлении /по Барту /4/ образуются зоны, из которых силикатический материал, богатый Al, Si, K, Na, со свойственными ему малыми элементами Li, Be, B и др., выжимается практически нацело в верхние слои коры, что в конечном итоге и приводит уже к полной химической перестройке исходных образований. При подобном, а также при сходном с ним процессе гранитизации или при перестройке пород в результате диффузии в твердом состоянии, примеры чего приводит И. Бугге /36/, весьма трудно рассчитывать на то, что исследование нормального первично-конституционального рассеяния будет способно оказать какую-то действительную помощь в деле установления состава и генезиса исходных пород. Поэтому в подобных случаях рекомендуется производить исследования выборочно, с использованием реликтовых участков и минералов, из числа наименее подвергнувшихся изменению. Безусловно, полезным должно быть исследование изотопного состава реликтовых минералов /например, кальцита, сульфатов, фосфорита/, имея однако в виду, что одновременное термическое воздействие на породу может в значительной мере усложнить первоначальную картину распределения изотопов.

В связи с тем, что особенности сингенетического рассеяния, свойственные двум основным типам образований — изверженным и осадочным — в конечном итоге лежащим в основе метаморфических пород, рассмотрены и иллюстрированы достаточно подробно, в этом параграфе мы ограничимся минимумом примеров, имея в виду только подчеркнуть вышеизложенные соображения.

Б. Примеры практики

В качестве примера, прежде всего упомянем большую работу Т. Г. Сахама /2/, опубликованную им в 1945 г. Эта работа была посвящена изучению рассеянных элементов в породах Южной Финской Лапландии и имела главной целью доказать большую геологическую значимость подобных исследований.

Для решения задачи для исследований была выбрана геологически изученная область упомянутой территории, в строении которой принимают участие докембрийские осадочные кварциты и сланцы, амфиболиты, зелено-каменные породы и туфы, граниты, гнейсограниты, гнейсы и гранулиты. Некоторые из пород в высокой степени метаморфизированы.

Для анализов было отобрано 800 образцов; для характеристики состава аксессуарных элементов отдельных групп пород или формаций были изготовлены средние смеси, которые исследовались как отдельные пробы. Самое определение аксессуарных элементов производилось преимущественно при помощи спектрографии. Определялись 22 элемента — Ti, Zr, Mn, Ba, Sr, La, Ce, Nd, Y, Sc, Ga, Be, B, Rb, Cs, Li, Cr, V, Ni, Co, Pb, Ge.

Общие выводы Т.Г.Сахама в части, касающейся бесспорно сингенетичного рассеяния изверженных и осадочных пород, полностью совпадают с приведенными в предыдущих параграфах. Здесь мы ограничимся лишь изложением его выводов по метаморфическим образованиям. Т.Г.Сахама установил, что метаморфизированные породы, такие как силлиманитовые гнейсы, яшмо-кварциты и др., несут в себе гамму акцессорных элементов, полностью согласующуюся с непосредственными геологическими данными о первоначальном происхождении этих пород.

Совпадение состава акцессорных элементов с ожидаемым позволяет сделать вывод, что метаморфические процессы, развивавшиеся на исследуемой территории /местами достаточно интенсивно/, не изменили первоначального химизма пород.

Во всяком случае, геохимическое сравнение пород разной степени метаморфизма позволяет заключить, что мобилизация акцессориев не была интенсивнее мобилизации основных породообразующих элементов.

Хотя содержания рассеянных элементов в породах определенной формации варьируют в относительно широких пределах /так же как это свойственно и главным породообразующим элементам/, эти колебания, тем не менее, не превышают определенных пределов и позволяют четко выделять средние различия между отдельными породами. М.М.Ермолаев, производя по плану ВИТР'а совместно с Северо-Западным геологическим управлением разработку комплексной методики поисков месторождений редкометалльных пегматитов на Кольском полуострове, попутно был вынужден заняться вопросом первоначального происхождения пород, ныне представленных амфиболитами.

Проведенное на базе спектроанализа сопоставительное геохимическое изучение показало, что общая гамма рассеянных в амфиболитах элементов соответствует характерной для изверженных пород габброидного типа. Тем самым с геохимических позиций было подтверждено первоначально изверженное происхождение амфиболитов, вероятное и по совокупности геолого-минералогических, в частности, кристалло-оптических исследований.

Тем не менее при исследовании метаморфических пород должны встречаться случаи, весьма трудные для объективной расшифровки.

В этой связи рассмотрим основные результаты работ И.Бугге /36/, посвященных установлению геологической важности диффузии веществ в твердом состоянии. В указанных целях И.Бугге рассмотрел теоретические основания возникновения подобной диффузии, в частности, величины коэффициентов диффузии, оказавшихся конечными, и пришел к выводу о ее возможности. В соответствии с этим он считает оправданным объяснить возникновение в природе ряда геологических образований именно за счет подобного явления, без всякого переплавления участвующих в диффузии веществ.

Таково, по мнению И.Бугге, происхождение контактово-метаморфических розовых кварцитов; в качестве диффунданта здесь выступала окись железа; диффузионной средой был кварц. Диффузия происходила при температуре намного ниже температур плавления кварца /1713°С/ и гематита /1565°С/. Аналогич -

ным диффузионным путем И.Бугге объясняет образование большого ряда докембрийских пород в изучавшемся им районе Южной Норвегии и, в частности, арендалитов, кордиерито-андалузитовых пород, скарнов, гранитов и гранит-пегматитов. Особенно показательным автор считает пример образования арендалитов, метаморфических пород норито-чарнокитового ряда. Микроскопическое изучение арендалитов сделало возможным предположение, что исходные породы явились средой диффузии системы частиц, продвигавшихся по интерстициям между зернами породы, а также непосредственно сквозь решетки кристаллов и метасоматически изменявших исходное вещество. В качестве последних, как считает И.Бугге, выступали гнейсы; перемещения вещества происходили таким путем, что магний, железо, титан и другие элементы /в том числе малые/ передвигались от основных пород к кислым, тогда как кремний двигался в противоположном направлении. И.Бугге также предполагает, что дальности переносов были разные и колебались — от незначительных до тысяч метров. Подобные перемещения допускаются им для натрия и калия, по его мнению, также привнесенных в арендалиты из внешних источников. Очевидно, что в этих условиях состав первично-конституционального рассеяния будет носить резко иной характер, чем это имело место в исходных породах.

Крайне широкие возможности, еще совсем малоиспользуемые при изучении метаморфических /в первую очередь термо-метаморфических/ пород, скрыты в области природных изотопических соотношений элементов.

Так К.Ранкама /27/ во многих местах своей книги обращает внимание на случаи природного разделения изотопов тех или иных элементов в силу разного рода геологических причин и особенно подчеркивает разделение изотопов кислорода, фосфора, кремния и серы под влиянием тепловых явлений.

А.И.Бродский /37/ достаточно подробно разбирает причины возможного разделения изотопов как в технике, так и в природе. Из этих причин для наших целей здесь надлежит отметить термо-диффузионное разделение изотопов, возникающее в силу простого неравномерного нагревания. Теория термодиффузии сложна, выходит за рамки классических представлений и не всегда дает возможность предугадать эффект. Основные выводы из теории, приведенные А.И.Бродским, сводятся к утверждению, что разделение изотопов при термодиффузии, при прочих равных условиях, зависит от разности температур в диффузионном пространстве, от разности масс диффундирующих изотопов /а не от отношения их масс/ и от свойств силовых полей атомарно-молекулярных частиц. Как правило, особенно при термодиффузии в газовых смесях, легкие изотопы концентрируются в "горячей" области, что, однако, имеет место не для всех элементов.

Термодиффузионное разделение изотопов установлено в газовых смесях, жидких растворах и, что особенно важно для геологических целей — в твердых телах /случай разделения изотопов меди в сульфиде серебра/. Также крайне важным для геологических целей является зависимость термодиффузии от разности /а не от отношения/ масс изотопов, что позволяет вовлечь в рассмотрение всю плеяду изотопов, а не только их какую-либо небольшую группу, по особому при-

знаку /например малых атомных весов/.

В природе с явлениями термодиффузионного разделения изотопов внутри самих горных пород в твердом состоянии, безусловно, придется сталкиваться при контактном термальном метаморфизме, а так же в вулканических областях. Один из случаев безусловного разделения изотопов /кислорода/ в силу термального воздействия рассмотрен в разделе ореолов первичного рассеяния рудных месторождений, поскольку этот случай прямым образом связан с процессами рудообразования.

Из приведенных примеров ясно следует, что изучение первично-конституционального рассеяния в метаморфических породах в той же степени практически полезно, в какой это было установлено для пород изверженных и осадочных/за исключением случаев дальних переносов больших количеств веществ/.

§ 4 Нормальное первично-конституциональное /сингенетичное/ рассеяние /нормальный геохимический фон/ в минералах

А. Определение и общие сведения

Не должно вызывать сомнений предположение, что химический состав кристаллизующегося многокомпонентного вещества непрерывно меняется, будучи определяем, помимо заданного исходного состава, еще и внешними условиями — давлением и температурой. Очевидно также, что это изменение состава будет справедливо не только по отношению к главным элементам, но также и к элементам-примесям. Последние, попадая во внутрь минерала тем или иным образом, путем изоморфного замещения главных элементов, будучи механически захваченными решеткой минералов, входя в состав растворенного вещества в интерстиционной жидкости и т.п., очевидно, будут отображать в своем сочетании химический состав кристаллизующегося вещества на момент образования исследуемого минерала. Таким образом, изучение состава аксессуарных элементов в выбранных минеральных разностях может способствовать установлению физико-химических условий образования исследуемых минералов. Проведенные неоднократно, в разное время и в разных странах, исследования в рассматриваемом направлении принесли много эмпирического материала, в целом подтверждающего приведенный вывод. Ниже изложены результаты некоторых, наиболее показательных из этих работ. Одновременно подчеркивается, что здесь не рассматриваются возможности исследования гаммы элементов-примесей в минералах непосредственно для целей рудных поисков. Об этом уже говорилось в первом параграфе и будет идти речь в главе об ореолах первичного рассеяния месторождений. Внимание сосредотачивается, главным образом, на определениях по составу примесей геологических условий образования минералов.

Б. Примеры практики

Едва ли не первые систематические и целеустремленные исследования элементов-примесей в касситеритах были предприняты в Совете в 1939-41 гг. С.А.Боровиком, А.М.Болдыревой и Я.Д.Готманом.

В связи с тем, что результаты исследований примесей в касситеритах и выводы из них будут сделаны позднее и на основании современных данных, здесь ограничимся лишь упоминанием, что присутствие талтала и ниобия в примесях, как отличительная черта касситеритов из пегматитов, было впервые установлено перечисленными исследователями.

П.Е.Аугер в своей статье /38/ излагает сравнительные результаты исследований элементов-примесей в пиритах из Канадских золоторудных месторождений, развитых в пределах докембрийского щита, и из ряда подобных же месторождений, расположенных вне щита /Калифорнийских и Мексиканских/. Исследования производились при помощи полуколичественного спектрального анализа.

Определялись элементы — Al, Si, Mg, Ca, Sr, Ba, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, In, Y, Sc, Mo, Sn, Bi. Всего из различных рудников Канады было исследовано 124 пробы пиритов.

Результаты работ позволили Аугеру сделать следующие основные выводы:

1. Наиболее характерной для примесей в пиритах, взятых из месторождений расположенных внутри щита, является группа Ti, Cr, Mn, Ni, Co.

Эти элементы отчетливо устанавливаются практически в каждой пробе; однако, отношения содержания каждой пары в этой группе оказываются варьирующими при переходе от одних месторождений к другим.

2. Состав группы элементов-примесей, характерных для разных по генезису месторождений внутри щита, является своеобразным. Например, для пиритов из месторождений массивных сульфидных руд характерна более частая встречаемость Sn и In, при угнетенном Cr и отсутствии Mo, тогда как пириты из месторождений жильного типа обогащены Cr и содержат Mo, при отсутствии Sn и In.

3. Состав элементов-примесей в пиритах из золото кварцевых месторождений, развитых внутри щита, резко разнится от такового для месторождений вне щита. Например, в пиритах из золоторудных месторождений, залегающих в докембрийском щите, устанавливаются обильные Cr, Mn, Ni, Co, при практическом отсутствии Pb, Zn, Ag, тогда как для подобных же калифорнийских и мексиканских месторождений наблюдается обратная картина. По мнению Аугера, распределение малых элементов в пирите отображает температурный тип минерализации и служит индикатором условий образования месторождений; в частности, особенности элементов примесей, установленные для мексиканских и калифорнийских месторождений, указывают, в согласии со взглядами Линдгрена, на более низкую температуру их образования, по сравнению с канадскими.

4. Влияния боковых пород на состав группы элементов-примесей в пиритах — не установлено.

5. Отмечается изменение состава примесей с глубиной, т.е. зональность внутри одного и того же месторождения.

В целом Аугер приходит к выводу, что качественный состав и количественные соотношения содержания элементов-примесей в пиритах зависят от типа месторождений, от температуры их образования, но не зависят от характера вмещающих пород.

Достаточно подробная сводка интересующих нас данных приводится у Х.Хаберланда /39/ см.табл.№ 8/.

№№ пп	Минерал	Геологические условия образования	Геохимические особенности примесей
1	Флюорит	Гидротермальный, средние породы. Пегматитовый, гра- ниты	Обогащение двух- валентным европием То же иттербием
2	Урановая смолка /уранинит/	Гидротермальная, сульфидные, м-ния Катанги Пегматитовый, граниты	Обогащение двух- валентным европием Европий отсутству- ет
3	Шеелит	Пегматитовый, граниты Из месторождений, связанных с основ- ными породами	Обогащение иттро- выми землями /тер- бием, диспрозием, эрбием/ Обогащение европи- ем, самарием
4	Апатит	Пегматитовый, Нефелин-сиениты Пегматитовый, гранит-сиениты пегматитовый гидротермальный и пневматолито- вый	Обогащение церием Обогащение иттрием Обогащение TR, иттрием, марганцем Иттрия нет, обедне- ние марганцем
5	Биотит	Основные изверженные породы Кислые извержен- ные породы /гранитоиды/	Обогащение скандием Скандия мало
6	Пирит	Гидротермальный Осадочный	Mn меньше 0,1% обогащение As, Cu, Zn Mn больше 0,1%, присутствует P обеднение As, Cu, Zn
7	Сфалерит /с уточнениями, по Ранкама и Сахама /9/	Высокотемператур- ный Среднетемператур- ный Низкотемператур- ный	х/Преобладающие Co, Fe, Mn и угнетенные Ga, Ge, Tl х/Преобладающие Ga, In х/Преобладающие Ge и особенно Tl; угнетенные Fe и Mn

х/ Содержания Cd, по видимому, не зависят от температуры и геологичес-
ких условий образования.

Среди последних работ внимание привлекают статьи А.С.Дудыкиной, в которых излагаются исследования парагенетических ассоциаций элементов — примесей в гранатах /40/ и касситеритах /41/.

Гранаты были выбраны как минеральные представители, образующиеся в различных геологических условиях. Всего при помощи полук количественного спектроанализа было исследовано 272 образца. Определялось свыше 30 элементов; в их числе: Fe, Cr, V, Ni, Co, Ti, Mg, Ca, Al, Si, Mn, Zr, Y, Sc, Ge, Ga, Ta, Mo, W, Sn, P, Be, Li, As, Cu, Pb, Cd, Sb, In, Te, Tl, Se. Повсеместно были установлены — Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti. Не были установлены нигде /очевидно из-за недостаточной чувствительности анализа/ — Tl, In, Cd, Se, Te, Ta, P, Li. Остальные из перечисленных элементов присутствовали в гранатах по разному.

Основные результаты этих исследований приведены в таблице № 9. К ней следует лишь добавить, что как количественные содержания, так и частота встреч того или иного элемента варьировали в значительной мере, вследствие чего состав характерной ассоциации и средние содержания элементов в ассоциациях могли быть установлены лишь статистически.

Таблица № 9

№№ п/п	Порода, из которой отобран гранат	Главные компо- ненты и их со- держания	Типичная ассоциация элементов-примесей
	1	2	3
1	Грейзены	Преобладают Mn, Fe, Al; в подчинении Ca и Mg	Подчеркивается содержание Be, Sn, Mo, Y, Ge; Sc незна- чительные
2	Пегматиты гранитные	То же	В процессе развития пегма- титового процесса уменьша- ется содержание V, Cr, Ti, Y и увеличивается Ge, Ga, Sn.
3	Кварцевые жилы /в кислой среде/	То же	Y, Ge, Sc, Be, Ga, As, Mo.
4	Скарны вмещающие полиметал- лические м-ния	Преобладают Ca и Fe; в подчинении Al, Mg, Mn	Наиболее типичные — As, Ge, Sn, Pb, Cu; значительно реже Ga, Cr, Zr, Ni, Bi, Ag; почти полностью отсутству- ют Y, Sc.
5	Скарны, вмещающие железоруд- ные м-ния	То же	Наиболее типичны — Ti, V, Cr, Cu; очень редки — Ni, Co, Zr, Y, Ge, Ga; практически отсутствуют — Sc, Be, Sn, As, Pb.

	I	2	3
6	Метаморфизованные базиты и ультрабазиты	Преобладают Са, Al, Fe; в подчинении Mg, Mn.	Главные аксессуары Ti, V, Cr, Cu, Ni; реже Zr, Ga, Co; в отдельных случаях Y, Sc, Ge.
7	Гнейсы	Преобладают Fe, Al, Mg; переменные количества Са, Mn	Почти постоянно присутствуют Cr, Ti, V, Cu, Y. реже Zr, Sc, Ge, Co, Ni; в единичных образцах Ga, Be, Pb, Mo.
8	Сланцы /хлоритовые и слюдястые/	Преобладают Са, Fe, Al; в подчинении Mn и Mg.	V, Cu, Cr, Ti; реже Co, Zr.

В целом, А.С.Дудыкина приходит к выводам, что гранаты являются химическими индикаторами среды, отображая в своем химическом облике изменение состава расплава или раствора в ходе развития процесса минералообразования, и что полученные в этом отношении данные, в сочетании с геологическими предпосылками, могут быть успешно использованы при поисковых работах.

В аналогичной работе по касситеритам были использованы 270 полуколичественных спектроанализов образцов из 64 различных коренных оловорудных месторождений. Среди последних были представители пегматитовой, кварц-касситеритовой / с тремя подразделениями - собственно кварц-касситеритовой, грейзеновой и переходной к сульфидно-касситеритовой / и сульфидно-касситеритовой формаций. Всего определялось 19 элементов: Ti, Zr, Ta, Nb, Sc, W, Ga, Ge, As, Bi, In, Tl, Zn, Mo, V, Be, Pb, Cu, Sb.

Основные результаты исследований касситеритов приведены в сводной таблице № 10, к которой следует сделать добавление, аналогичное вышеприведенному к таблице № 9.

В выводах А.С.Дудыкина отмечает, что каждому генетическому типу касситеритов свойственна определенная парагенетическая ассоциация элементов-примесей, состав которой может быть использован для распознавания генезиса исследуемого касситерита, а вместе с тем - и для поисковых целей.

Новые возможности /кстати практически мало используемые для решения поисковых задач/ открываются при изучении изотопного состава элементов, входящих в состав минералов. Некоторые примеры этого приведены у К.Ранкама /27/.

Так было обнаружено, что изотопный состав углерода из алмазов Кимберли, характеризуемый отношением $C^{12}/C^{13} = 89,0-89,31$, отличается от такового

Таблица № 10

№№ п/п	Тип олово- рудного месторожде- ния	Типичные элементы в ассоциации	"Запрещенные" элементы /отсутствуют/
I	Пегматитовый	Zr /до 2%/; Ta /до 2%/; Nb /до 2%/; Редки и в малых содержаниях Sc, W, Bi, As, Pb, V. Более часты Ga и Be, но в малых содержаниях	Sb, In, Ag, Zn.
2.	Кварц-полево- шпатовые жи- лы и грейзены	В целом гамма элементов-примесей близка к таковой в касситеритах из пегматитов. Отмечается уменьше- ние роли Ta, Nb, Zr и увеличе- ние W и Ti.	
3	Типичный кварц-кассите- ритный	Pb /до 0,07%/; Bi /до 0,2% /; Ag /до 0,1% /; Ga /до 0,005%/; Be и V - распро- странены широко; Nb, Zr, Sc редки и в малых количествах.	Практически Ta
4	Кварц суль- фидно-кассите- ритовый /переходный/ Сульфидно- касситери- товый	В целом гамма элементов-примесей является промежуточной между ти- пичными кварц- и сульфидно-касси- теритовыми формациями. Присутству- ют Pb, As, In, Sb, Nb, Zr, Sc /последние три в малых содержаниях/ Преобладают элементы каль- косульфидной группы - Pb, As, Sb, Ag, W (до целых %%) Zn, Tl; Ga /до 0,007%/; Особенно харак- терен In- /до 1-2%/	Ta, Nb, Zr, Sc.

для органики ($C^{12}/C^{13} > 91,0$) и близок изотопному составу углерода в черных глинистых сланцах свиты Карроо. Аналогичным путем было установлено, что проблематичная архейская окаменелость Корициум Энигматикум Седерхольма ($C^{12}/C^{13} = 92,0$) есть действительно древнейшая окаменелость, с возрастом около 1,4 миллиарда лет.

Упомянутое отношение легкого и тяжелого изотопов углерода, как установлено, увеличивается с увеличением температуры образования карбонатных минералов. Так гидротермальные карбонаты — кальцит, доломит, родохрозит, сидерит, стронцианит — обладают средним отношением C^{12}/C^{13} равным 89,4, тогда как для осадочных карбонатов наблюдается, в среднем, цифра 88,5. Конкретно, для гидротермальных сидеритов было установлено отношение C^{12}/C^{13} , равное 88,8-90,2, а для территориально близких к ним осадочных 88,1-88,3; для жильного стронцианита $C^{12}/C^{13} = 89,4$ и для осадочного 88,1-88,9 и т.п. В частности, использование подобных взаимоотношений позволило доказать, что во Фрейберском руднике образование доломита ($C^{12}/C^{13} = 88,7$) происходило при более низкой температуре, нежели родохрозита ($C^{12}/C^{13} = 89,6$).

Исследование изотопного состава серы в пирите из Франкли-Фэрнеса/США/ помогло подтвердить первоначально осадочное образование упомянутого месторождения, поскольку отношение (S^{32}/S^{34}) в пирите, равное 21,61, оказалось близким к отношению для осадочных сульфатов, выпадающих из морской воды ($S^{32}/S^{34} = 21,81$).

Наконец, исследования изотопного состава кислорода природных образований, аналогично таковому же для углерода, также позволяет устанавливать генетические соотношения. То обстоятельство, что отношение O^{16}/O^{18} растет с повышением температуры, позволяет различать образования осадочного происхождения от таковых изверженного или гидротермального. Так, например, отношения O^{16}/O^{18} для кальцитов, образующихся при низких температурах, например, в осадочных породах, намного ниже /порядка 486,7/, чем в гидротермальных жилах и изверженных породах/порядка 495-500/.

Те же соотношения устанавливаются для кремнекислоты /в диатомите $O^{16}/O^{18} = 483,9-489,8$, а в кварце из изверженных пород и гидротермальных жил 491,8-494,8/.

По А.П.Виноградову и Е.И.Донцовой /42/, скарновые минералы, как производные из осадочных известняков с заведомо-пониженными отношениями O^{16}/O^{18} , по этому признаку могут быть распознаны от аналогичных минералов изверженного происхождения, обладающих повышенными значениями O^{16}/O^{18} . В частности, подобным образом можно отличить скарновый магнетит от магнетита магматогенного. Следует иметь в виду, что изучение изотопного состава различных природных образований в целом находится на начальной стадии и здесь возможны еще разнообразные открытия практического значения.

В заключение настоящего параграфа позволительно подчеркнуть, что изучение сингенетичного рассеяния/равно как и изотопного состава элементов/

в отдельно взятых минералах позволяет, прежде всего, сравнительным путем устанавливать генезис исследуемых минералов, условия их образования и пр. Поскольку эти обстоятельства подчас имеют существенное поисковое значение, то, следовательно, указанное изучение способно прямым образом воздействовать на успех руднопоисковых работ. Так, например, обнаружение в шлихах гранатов скарнового происхождения /по гамме элементов примесей в них/, магнетита такого же генезиса /по пониженному значению O^{16}/O^{18} / и т.п. ориентируют геолога на обнаружение скарновых месторождений. Установление повышенных значений отношений C^{12}/C^{13} и O^{16}/O^{18} у кальцитов, доломитов и т.п. минералов, обнаруженных даже в общем карбонатном поле, будет служить веским аргументом в пользу гидротермального происхождения этих карбонатных минералов.

Указанное может иметь прямое поисковое значение, например, для решения задачи обнаружения свинцовых месторождений в области развития ниже- и средне-палеозойских осадочных карбонатных толщ на территории Эстонской ССР и сопредельных площадей.

Наконец, знание гаммы элементов примесей, например, в касситеритах, позволит правильно оценить практическую значимость находок касситеритовых зерен при шлиховой съемке, помогая предугадать генетический тип коренного источника, питающего касситеритом рыхлые образования. Аналогичные результаты дает и изучение малых элементов в других минералах, например, в пиритах, сфалеритах и т.п.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ИЗ ДАННЫХ ПО НОРМАЛЬНОМУ ПЕРВИЧНО-КОНСТИТУЦИОНАЛЬНОМУ РАССЕЙНИЮ В ЛИТОСФЕРЕ

Выше были рассмотрены основные теоретические предпосылки и практические данные, касающиеся нормального первично-конституционального/сингенетического/ рассеяния. Из изложенного с достаточной убедительностью следует, что указанная составляющая рассеяния является характеристикой изверженных, осадочных и метаморфических пород и отдельных минералов. Эта характеристика не уступает по своей познавательной значимости обычным, ставшим классическими, минералогическим, кристаллооптическим, петрографическим, литологическим, петрохимическим и пр. характеристикам геологических образований. Мало того, есть основания думать, что во всех случаях, когда имеется в виду для тех или иных построений использовать химизм геологических образований, этого сделать просто нельзя без исследования качественно-количественного состава элементов-примесей, как бы количественно малой не казалась доля участия гаммы рассеянных элементов в построении рассматриваемых образований.

Подытоживая вышеприведенное, можно сказать, что результаты качественно-количественного /и изотопного/ изучения первично-конституционального рассеяния в геологических образованиях весьма эффективно позволяют решать следующие задачи:

1. Устанавливать геохимические /металлогенетические и петрографические/ провинции.
2. Идентифицировать разрозненные выходы родственные пород, особенно новых, и различать между собой сходные по другим характеристикам образования.
3. Устанавливать родственность между собой различных пород, будь то изверженных, осадочных или метаморфических и на этом основании выделять родственные семейства.
4. Уточнять физико-химические и геологические условия образования различных пород и минералов.

Одновременно знание особенностей первично-конституционального рассеяния в породах и минералах позволяет разрешать и чисто поисковые задачи, а именно:

1. Предугадывать и оценивать перспективную рудоносность тех или иных интрузий и вулканогенно-осадочных линз.
2. Выявлять безминеральные месторождения внутри осадочных пород и получать ориентирующие материалы для обнаружения древних месторождений в фундаменте, подстилающем изучаемые осадочные образования.
3. Нацеливать поиски на определенные классы и типы месторождений и предугадывать генезис этих последних, исходя из гаммы рассеянных элементов /или их изотопических особенностей/ в исследуемых рудообразующих минералах.

Все это, вместе взятое, подчеркивает практическую значимость и необходимость всестороннего исследования сингенетического рассеяния во всех геологических образованиях литосферы.

Л и т е р а т у р а

1. Н.И.САФРОНОВ Формы рассеянного состояния элементов в природе и их поисковое значение. Труды I Всесоюзного Совещания по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1957.
2. Т.Г.САХАМА Рассеянные элементы в породах Южной Финской Лапландии. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах". М., ИЛ. 1952.
3. А.Е.ФЕРСМАН Избранные труды, т. III. М., Изд. АН СССР, 1955.
4. Т.БАРТ Теоретическая петрология. М., ИЛ., 1956.
5. W.LINDGREN Mineral Deposits. Fourth edition, New-York, London, 1933.
6. Ю.А.БИЛИБИН Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М., Госгеолтехиздат, 1955.
7. Вг. MAZON Principles of geochemistry. Second printing, New-York, London, 1956.
8. В.И.ВЕРНАДСКИЙ Избранные произведения, т. I. М., Изд. АН СССР, 1954.
9. К. RANKAMA
ТН, G. SAHAMA Geochemistry. Third edition, Chicago, 1955.
10. Дж.М.БРЭЙ Распределение второстепенных элементов в изверженных породах района Джеймстаун, Колорадо, по данным спектроскопических исследований. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах" М., ИЛ. 1952.
11. Дж.М.БРЭЙ Распространение второстепенных химических элементов в жильных породах третичного возраста Передового хребта в Колорадо. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах." М., ИЛ., 1952.
12. Дж.А.ШИМЕР Спектрографические анализы гранитов и пегматитов Новой Англии. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах". М., ИЛ., 1952.
13. Л.Х.АРЕНС Геохимическое исследование редких элементов южно-африканских минералов и пород. Геохимическая связь между таллием и рубидием в минералах магматического происхождения. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах". М., ИЛ., 1952.
14. Л.Х.АРЕНС И
У.Р.ЛИБЕНБЕРГ Олово и индий в слюдах по данным спектрохимических определений. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах". М., ИЛ., 1952.
15. Ж.ЭДВОБ Микроэлементы при поисках рудоносных пегматитов./Перевод с французского/. Информационный сборник № 5, Л., Изд. ин-та ВИТР 1957.
16. В.Л.БАРСУКОВ И
Л.П.ПАВЛЕНКО Распределение олова в гранитоидных породах. ДАН СССР. т. 109, № 3, М., 1956.
17. W.F.SLAWSON,
M.P.MACKOWSKY Lead in Potassium. Feldspars from Basin and Range Quartz Monzonites. Bull. of Geological Society of America, Vol. 69, N12, 1958.

33. С.М.КАТЧЕНКОВ Опыт корреляции геологических разрезов по данным спектрального анализа. Геологический сборник № II/У/Ленинградского отделения. Гостоптехиздат, 1953.
34. С.М.КАТЧЕНКОВ Распределение элементов в глинах палеозоя Волго-Уральской области. ДАН СССР, т.107. № I, 1956.
35. А.А.АРСЕНЬЕВ,
Е.А.НЕЧАЕВА Некоторые геохимические особенности ниже-палеозойских отложений бассейна среднего течения р.Видля /ЯССР/. ДАН СССР, т.108, № 6, 1956.
36. JENS A.W.BUGGE The geological importance of diffusion in the solid state. Avhandlingar u tgh av Dlt Norske Videnskaps Academi i Oslo, 1945.
37. А.И.БРОДСКИЙ Химия изотопов.Изд.П. М.,Изд. АН СССР, 1957.
38. Р.Е.AUGER Zoning and district variations of minor elements in pyrites of Canadian gold deposits. Economic Geology, 36, 401, 1941.
39. Х.ХАБЕРЛАНД Значение рассеянных элементов в геохимических исследованиях. Сб."Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах". М.,ИЛ.1952.
40. А.С.ДУДЫКИНА Парагенетические ассоциации элементов-примесей в гранатах различного генезиса. Труды ин-та Геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР выпуск № 28, Вопросы геохимии. М., Изд. АН СССР, 1959.
41. А.С.ДУДЫКИНА Парагенетическая ассоциация элементов-примесей в касситеритах различных генетических типов оловорудных месторождений. Труды ин-та Геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии А.Н.СССР выпуск № 28, Вопросы геохимии. М., Изд. АН СССР,1959.
42. А.П.ВИНОГРАДОВ,
Е.И.ДОНЦОВА Изотопный состав кислорода минералов скарнового происхождения. ДАН СССР, 85,1341, 1952.

Редакторы: А.А.Пинкевич, Д.Н.Сафронов, Т.Л.Орлоблина

Сдано в печать 13/IX-62.

Ротапринт ВИТР

Ленинград В.О.Кожевенная 23^а

6,6 авт.л. Тираж 750.Заказ № 4/3

М- 39663.



1489