

УДК 550.42+553.21/24

Л. Н. ОВЧИННИКОВ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СВЯЗИ ПРОЦЕССОВ
МАГМАТИЗМА И РУДООБРАЗОВАНИЯ

В последние десятилетия стало очевидным большое разнообразие источников рудного вещества и механизмов рудообразования. Магматизм как универсальный первоисточник эндогенного оруденения в наших представлениях достаточно быстро потерял свою монополию. Более того, многие геологи бросились в другую крайность, доходя до почти полного отрицания связи какого-либо гидротермального оруденения с магматизмом.

Все же в настоящее время, несмотря на действительно широкое разнообразие источников рудного вещества и наличие эндогенных месторождений амагматического происхождения, большинству геологов очевидна и громадная роль магматизма в формировании отдельных типов и генетических групп рудных месторождений широкого спектра металлов. Магматизм был и остается важнейшим общегеологическим процессом, влекущим за собой образование многочисленных разнообразных по условиям формирования и составу эндогенных рудных месторождений.

Одним из неопровержимых геологических фактов, свидетельствующих о генетической связи рудных месторождений с магматическими образованиями, об органичной связи процессов магматизма и рудообразования, о гармоничном сочетании обоих процессов в ходе эволюции вещества являются поведение и закономерности распределения металлов, элементов-примесей вообще, рассеянных в земной коре и мантии. При становлении нашей планеты как геологического тела ведущим механизмом распределения вещества была дифференциация. Эта дифференциация нашла свое отражение в зональном распределении не только главных породообразующих компонентов, но и химических элементов, находящихся в рассеянном состоянии. Все более становится очевидным, что содержание редких и рассеянных элементов, элементов-примесей, как в земной коре в целом, так и в отдельных ее зонах и блоках, в слагающих ее геологических формациях и комплексах представляет собой важнейшую величину, отражающую не только поведение отдельно взятого химического элемента как такового, но и служащую индикатором геологических процессов и явлений, сформировавших земную кору в ее современном виде.

Не только первичная дифференциация вещества планеты, но и последующие процессы его перераспределения, одним из которых является магматизм, неизбежно затрагивают и перераспределение рассеянных металлов. Дифференциация металлов—закон, неизбежность. Магма-

тизм—один из планетарных процессов, способствующих этой дифференциации. Магматизм, магматическая дифференциация, сопровождается дифференциацией рудной. Магматическая дифференциация и дифференциация металлов, образующих месторождения, идут параллельно; вторая вызывается первой. Дифференциация приводит к сепарации, к концентрации металлов, вплоть до образования их промышленных скоплений. Широко проявлена закономерность: чем более дифференцирован магматический комплекс, формация, тем богаче оруденение, тем более отсепарирована рудная часть.

Образование рудных месторождений связано с судьбой рассеянных металлов в земной коре и мантии. В процессе рудообразования осуществляется непрерывная многоступенчатая дифференциация металлов, приводящая в конечном итоге к образованию монометальных месторождений. А начинается она еще при первичном рассеянии.

Можно выделить несколько видов дифференциации рассеянных металлов, определяемых процессами магматизма:

I. Распределение вещества между земной корой и верхней мантией, магматизм мантийный и магматизм коровый.

II. Дифференциация в связи с разными типами магматизма, магматизм гранитоидный, базальтоидный, щелочно-карбонатитовый.

III. Дифференциация между формациями внутри единого типа магматизма гранитоидного ряда, базальтоидного ряда.

IV. Распределение вещества между дифференциатами единой интрузии, между фазами и фациями интрузии.

Если перейти к более подробному разделению продуктов магматизма, то и оно будет также сопровождаться дальнейшей дифференциацией элементов-примесей.

Одной из важнейших закономерностей распределения металлов при их первичном рассеянии является вертикальная зональность, дифференциация по вертикали на разных уровнях организации вещества. Она находит свое отражение и по латерали, имеет общеземное региональное значение и в свою очередь влияет на размещение рудных месторождений—организованных промышленных скоплений этих рассеянных металлов.

Дифференциация рассеянных металлов, начинаясь еще при первичном рассеянии, определяет собой, в частности, давно подмеченное их разделение на генетические группы: литофильные, халькофильные, сидерофильные. Иными словами, простым, но существенным свидетельством вертикальной региональной зональной дифференциации металлов служит резкое различие их кларков в разных типах изверженных пород, различие в содержании рассеянных металлов между породами земной коры и продуктами выплавки из мантии. Простой анализ таблицы кларков по А. П. Виноградову [1] или другим авторам позволяет выявить ряд интересных закономерностей в этом отношении.

На рис. 1 отражена степень дифференциации рассеянных в горных породах металлов, выраженная через отношение: кларк максимальный

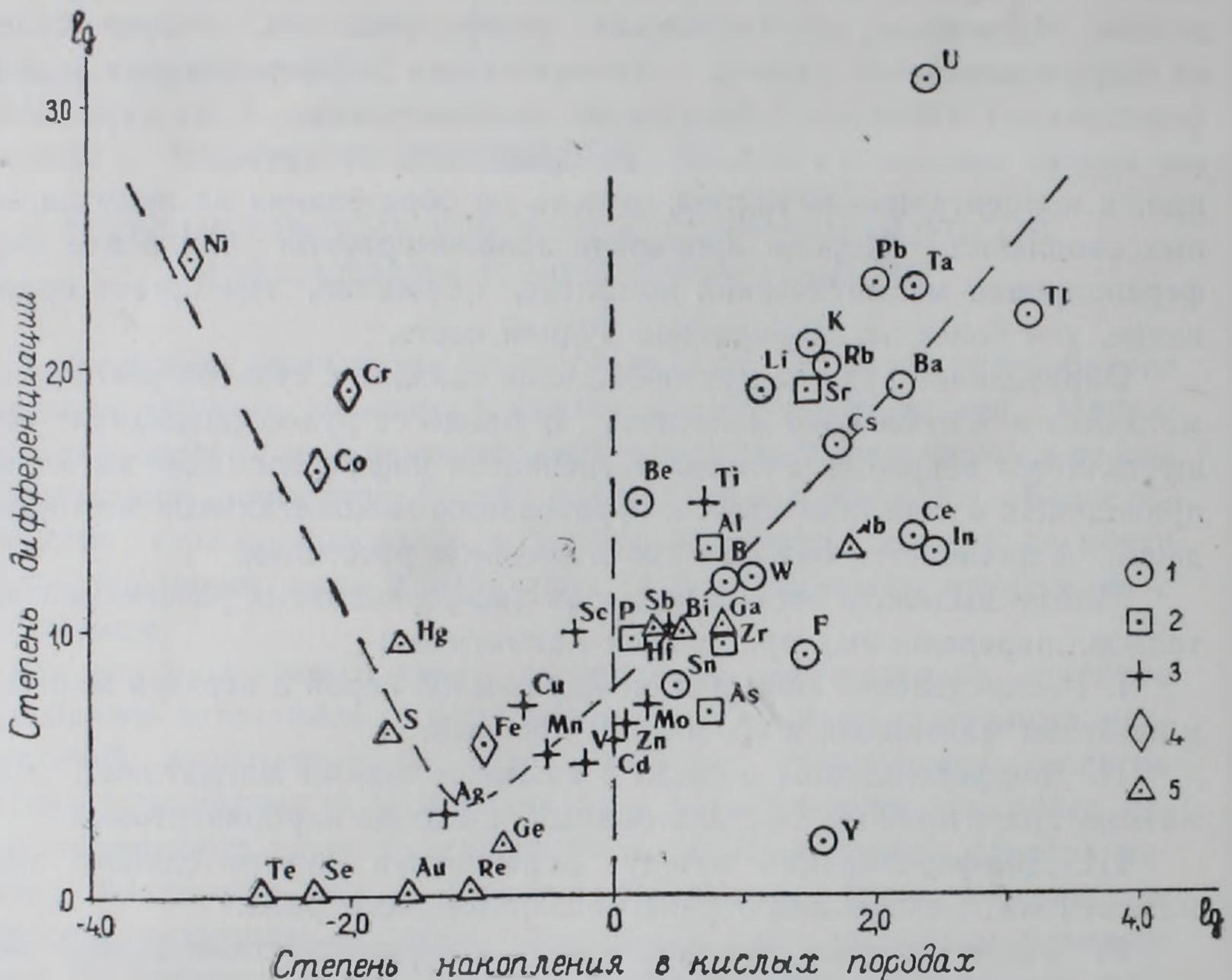


Рис. 1. Степень дифференциации и накопления в кислых породах химических элементов земной коры. Элемент с максимальным кларком в 1—кислых породах, 2—средних, 3—основных, 4—ультраосновных, 5—каменных метеоритах (хондритах).

к кларку минимальному $K_d = C_{\max}/C_{\min}$ при сравнении четырех групп изверженных пород: ультраосновные, основные, средние и кислые. Как отчетливо видно, различие в концентрации отдельных металлов в разных типах горных пород может достигать двух и даже трех порядков, то есть отличаться в сотни и тысячи раз. Второй координатой графика рис. 1 является степень накопления металла в кислых породах, как крайнем члене дифференциации мантийного вещества, за эквивалент содержания металлов в котором приняты их кларки в каменных метеоритах (хондритах). Таким образом, степень накопления в кислых породах равна отношению кларка кислых пород к кларку каменных метеоритов: $K_k = C_{\text{кл}}/C_x$.

В итоге на графике отчетливо выражена тенденция весьма глубокой дифференциации металлов с отсепарированием литофилов в кислые породы, а ярких сидерофилов—в ультрабазиты с закономерным распределением элементов по разной степени дифференциации и сепарации.

Эти закономерности важны не столько сами по себе, сколько в их влиянии на закономерности размещения месторождений. Как указывалось ранее, для образования любого рудного месторождения было необходимо вторичное перераспределение металлов с переходом от их

рассеяния к концентрации [3]. Этот переход может осуществляться с помощью разных механизмов в широком диапазоне эндогенных и экзогенных условий, но он не беспределен и подчиняется для всех металлов единой закономерности: масштабы накопления металла в рудных месторождениях определяются степенью его распространенности в земной коре.

Как было показано ранее [2], между средними содержаниями химических элементов в земной коре (кларками) и их некоторыми экономическими оценками—содержаниями в рудах и суммарными мировыми запасами существует прямая связь; были даны и предварительные количественные оценки этой связи. Используя уточненные данные, сей-

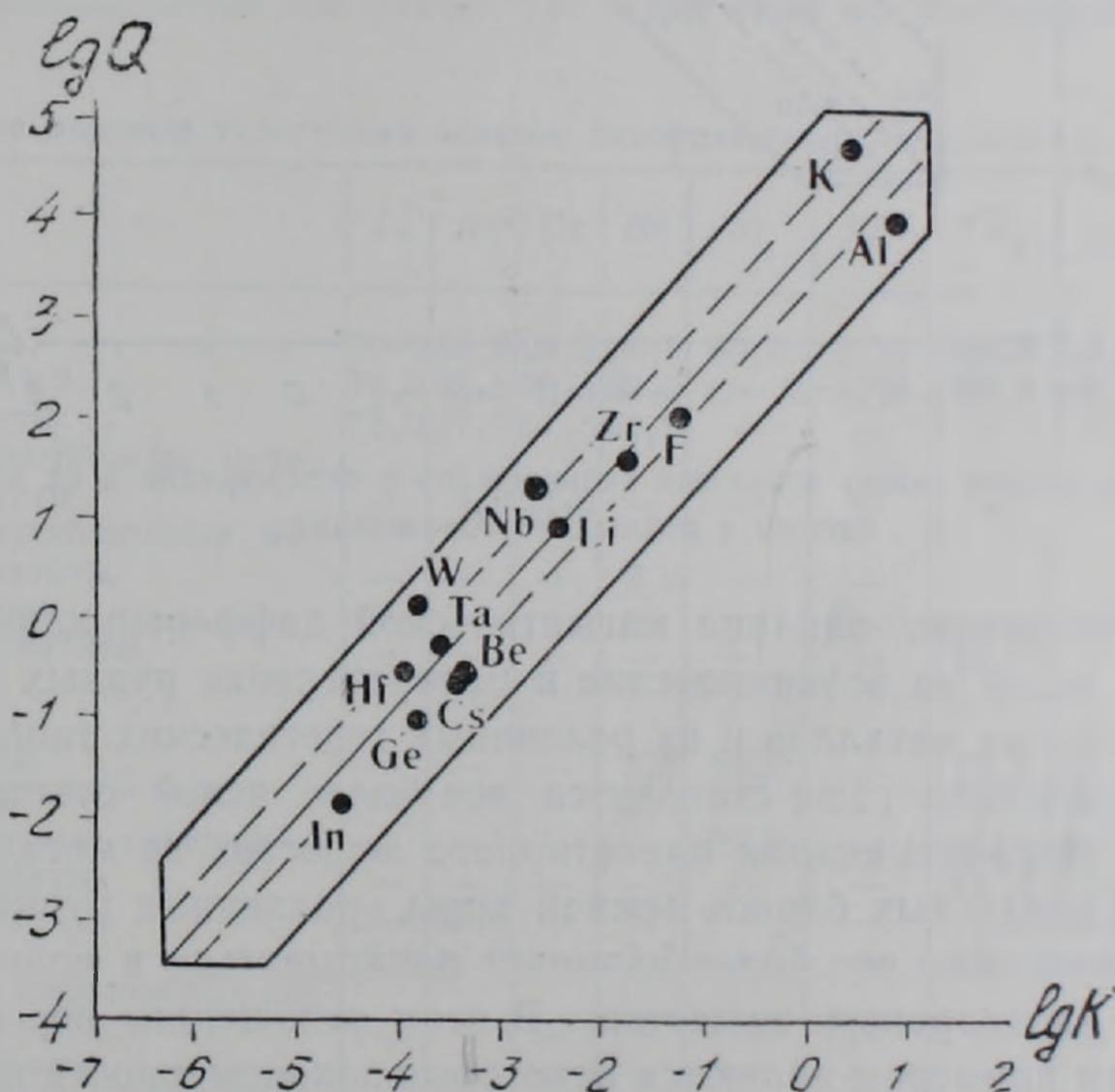


Рис. 2. Соотношение между кларками литофилов и их мировыми запасами в рудных месторождениях.

час мы с Р. И. Лутковым на основании параметров распределения и результатов полного регрессионного анализа получили новые значимо-интересные оценки взаимозависимости указанных выше величин. Здесь укажем только на один факт, свидетельствующий о связи процессов рудообразования с процессами магматизма. При высоком значимом положительном коэффициенте корреляции кларков и запасов 32 химических элементов ($R_{x, y} = +0,899 > R_{0,05/30} = \pm 0,349$) их общая совокупность разделялась на резко различные группы с отделением литофилов (рис. 2) от халькофилов и сидерофилов (рис. 3). Это различие является естественным отражением связи подавляющего большинства месторождений, концентраций металлов первой группы с коровым гранитоидным магматизмом, а второй—с мантийным базальтоидным.

Рассмотрим теперь более конкретные примеры связи рудообразова-

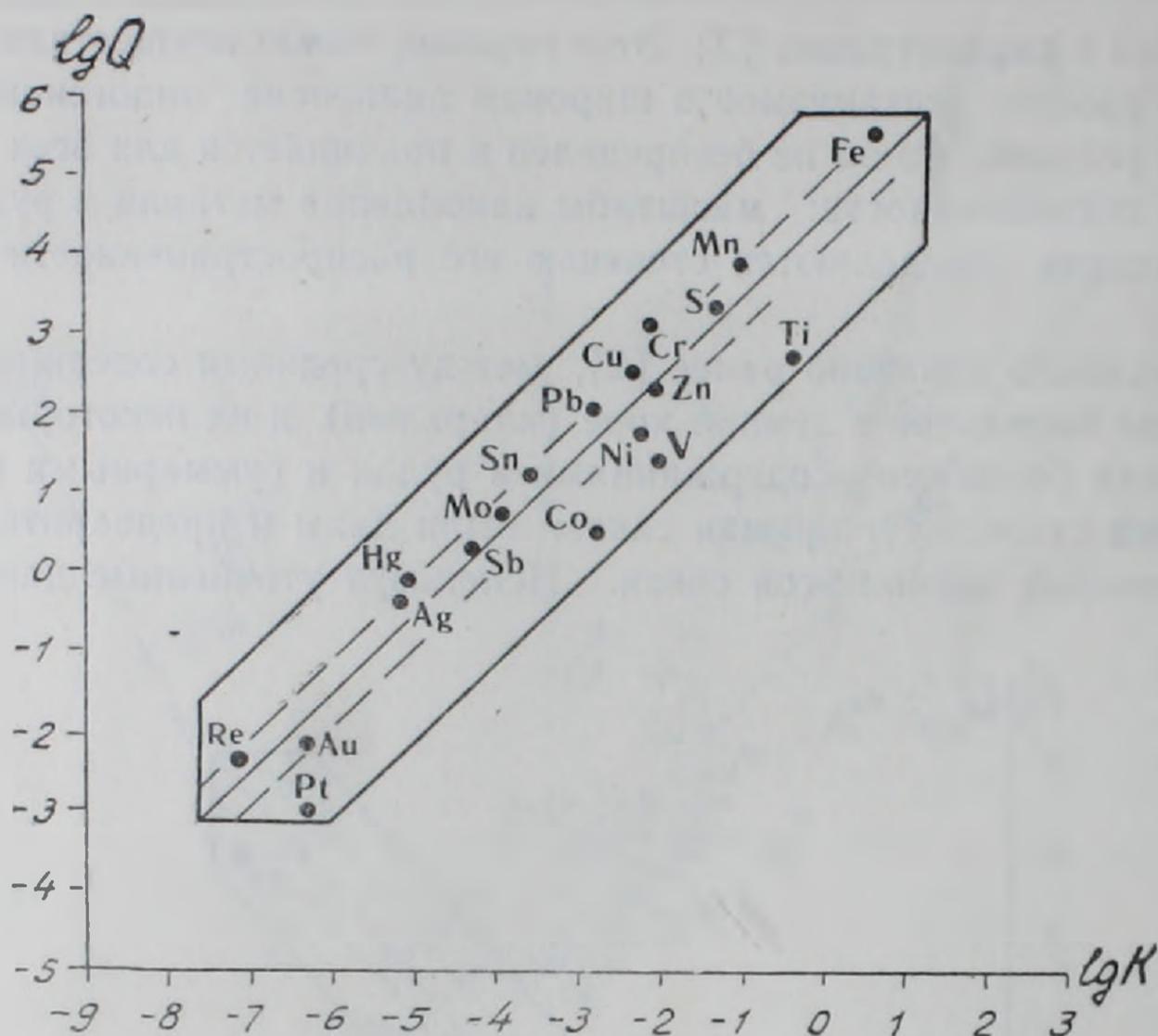


Рис. 3. Соотношение между кларками халькофилов и сидерофилов и их мировыми запасами в рудных месторождениях.

ния с магматизмом, влияния магматической дифференциации указанных ранее видов на возникновение и распределение рудных месторождений различных металлов и их различных генетических типов.

1. В последние годы становится все более ясной ответственность первичной дифференциации планетарного вещества за металлогенический облик отдельных блоков земной коры, различных рудных провинций. Одновременно все более начинает раскрываться и роль в рудообразовании подкорового вещества. В этом отношении, вероятно, наиболее ярким примером являются некоторые закономерности распределения промышленных месторождений литофильных редких металлов, которое оказывается резко контрастным при сопоставлении геосинклиналей и древних платформ. Наиболее ярко связь с гранитоидным магматизмом проявлена именно для редкометальных месторождений докембрия.

При первичном распределении литофильные редкие металлы были изначально отогнаны вверх и оказались таким образом, в силу своей природы, сосредоточенными в основном в самой верхней оболочке—коре. Процессы образования месторождений редких литофильных металлов в докембрии коровые и только коровые. При фанерозойской активизации древних платформ это уже более сложный процесс, захватывающий мантию. Но он, в отличие от геосинклинального процесса, связан с удалением—прорывом летучих из более глубинных мантийных зон, приводящим к формированию весьма специфических щелочных и карбонатитовых комплексов.

С целью получения более полной и достаточно объективной информации была произведена экспертная оценка мировых запасов промышленных эндогенных месторождений лития, рубидия, цезия, бериллия, стронция, иттрия и иттриевых земель, цериевых земель, циркония, ниобия и тантала и проанализировано их распределение по парагенетическим типам месторождений, редкометальным формациям, генетическим группам рудных образований, главнейшим геотектоническим структурам и геологическим эрам, что в итоге раскрывает основные черты металлогении перечисленных металлов [5].

На древних платформах и докембрийских срединных массивах сосредоточено от 65 до 99% мировых запасов эндогенных месторождений различных редких металлов (табл. 1). При этом на платформах нахо-

Таблица 1

Распределение мировых эндогенных запасов литофильных редких элементов (в %)

	Li	Rb	Cs	Be	Sr	TR _Y	TR _{Ce}	Zr	Nb	Ta
Платформы	76,0	65,0	90,5	66,7	99,0	91,0	99,3	93,3	97,0	87,0
Докембрий	73,0	32,5	90,5	50,0	—	91,0	26,0	16,7	7,0	41,0
пегматиты	73,0	27,6	67,5	41,0	—	—	—	—	1,5	28,0
цезий-биотитовые метасоматиты	—	4,9	23,0	—	—	—	—	—	—	—
кварц-мусковитовые метасоматиты	—	—	—	9,0	—	—	—	—	—	—
граниты	—	—	—	—	—	91,0	—	16,7	5,5	13,0
карбонатиты	—	—	—	—	—	—	26,0	—	—	—
Активизация										
Палеозой	—	—	—	3,0	99,0	—	73,3	59,9	46,1	40,0
граниты	—	—	—	3,0	—	—	—	16,6	5,0	11,0
нефелиновые сиениты	—	—	—	—	99,0	—	55,3	40,0	17,7	25,2
карбонатиты	—	—	—	—	—	—	18,0	3,3	23,4	3,8
Мезозой	3,0	32,5	—	3,7	—	—	—	16,7	43,9	6,0
граниты	3,0	32,5	—	3,7	—	—	—	—	0,7	6,0
жилы в нефелиновых сиенитах	—	—	—	—	—	—	—	16,7	—	—
карбонатиты	—	—	—	—	—	—	—	—	43,2	—
Кайнозой	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—
метасоматиты	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—
Геосинклинали	24,0	35,0	9,5	33,3	1,0	9,0	0,7	6,7	3,0	13,0

дится не только большее количество редкометальных формаций и парагенетических типов месторождений, но и самые крупные из всех известных и самые богатые из них. Все месторождения литофильных редких металлов связаны с кислыми или щелочными магматическими породами, то есть являются продуктами магматизма.

2. Примером связи процесса рудообразования с базальтоидным мантийным магматизмом является органическая зависимость эволюции колчеданного оруденения, месторождений колчеданной формации от эволюции этого магматизма.

Синтез всех фактических данных, относящихся к колчеданным месторождениям не только Советского Союза, но и мира, опирающийся на пространственно-статистический анализ, позволил выявить определенные закономерности в условиях нахождения и распространения мес-

торождений этой формации и высказать некоторые геолого-генетические соображения [4]. Мы располагаем наиболее достоверными количественными данными по запасам и содержаниям основных компонен-

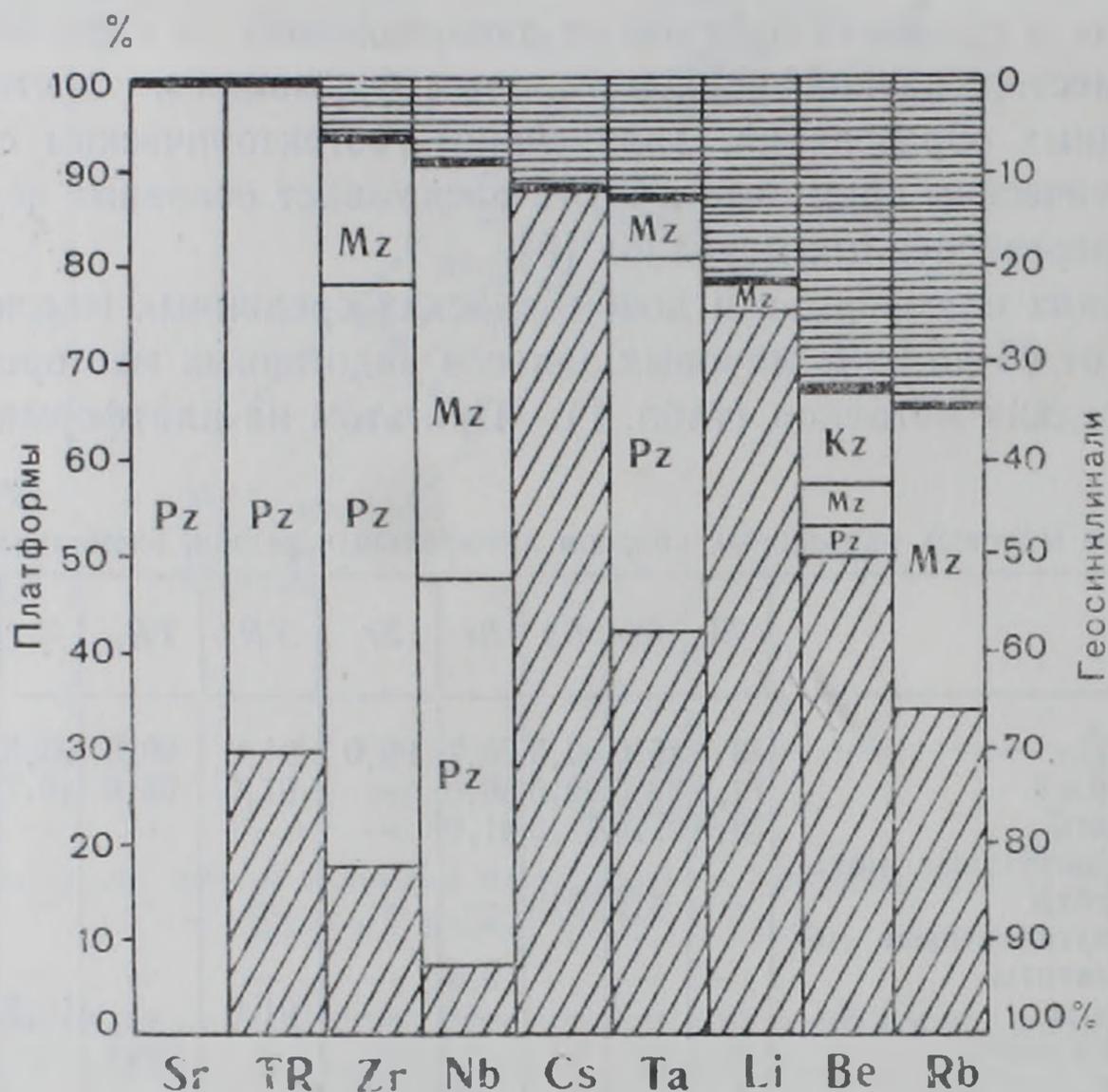


Рис. 4. Распределение мировых запасов редких металлов между докембрийскими платформами и геосинклиналями фанерозоя.

тов по 401 месторождению, геологические условия нахождения которых также объективно известны.

Широкие колебания соотношений главных рудных компонентов колчеданных месторождений являются прямым отражением геологических условий их нахождения. В целом может быть выделено восемь типов рудовмещающих геосинклинальных геологических (магматических) формаций, которые, будучи размещены в порядке увеличения кислотности магматитов, образуют упорядоченный последовательный ряд по уменьшению доли запасов меди в месторождениях и изменению некоторых прочих геохимических параметров, отвечая таким образом зональному (вертикальному или латеральному) распределению меди, свинца и цинка в земной коре (рис. 5, 6).

Этот ряд формаций таков: 1) ультрабазиты краевых зон глубинных разломов (зон Заварицкого-Беньофа), 2) габброиды краевых и поперечных глубинных разломов, 3) слабо дифференцированная существенно базальтовая, андезито-базальтовая формация, 4) липарито-базальтовая формация, 5) андезитовая, дацит-андезитовая формация, 6) базальт-липаритовая, дацит-липаритовая, липаритовая формация (геосинклинальная и раннеорогенная), 7) терригенно-сланцевая и терриген-

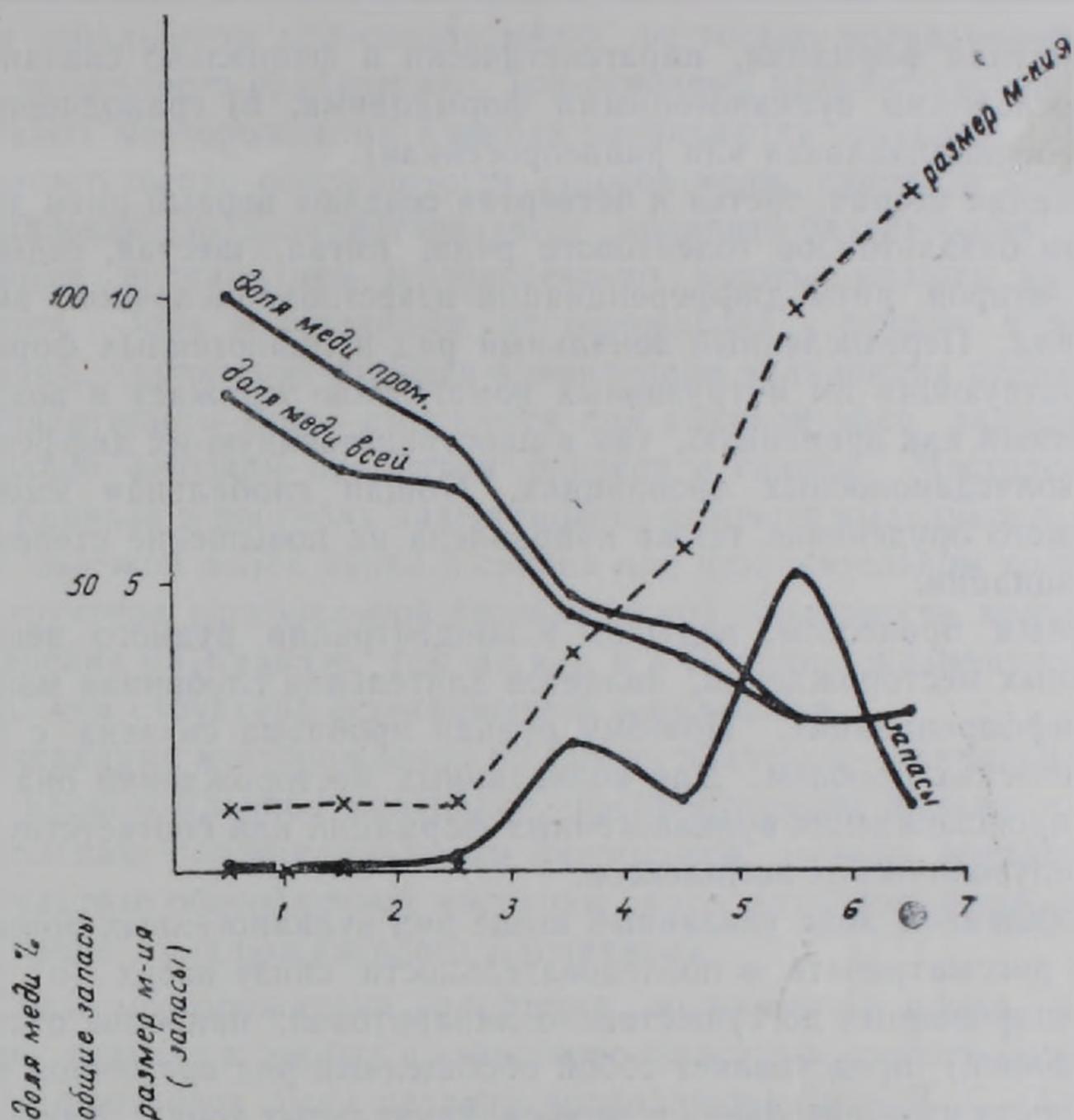


Рис. 5. Зависимость состава и масштабов колчеданного оруденения от типа рудовмещающей формации. Рудовмещающие формации: 1—ультрабазиты, 2—габброиды, 3—базальтовая, андезитово-базальтовая, 4—липарит-базальтовая, липарит-андезит-базальтовая, 5—андезитовая, дацит-андезитовая, 6—базальт-липаритовая, дацит-липаритовая, липаритовая, 7—терригенно-сланцевая, терригенно-карбонатная.

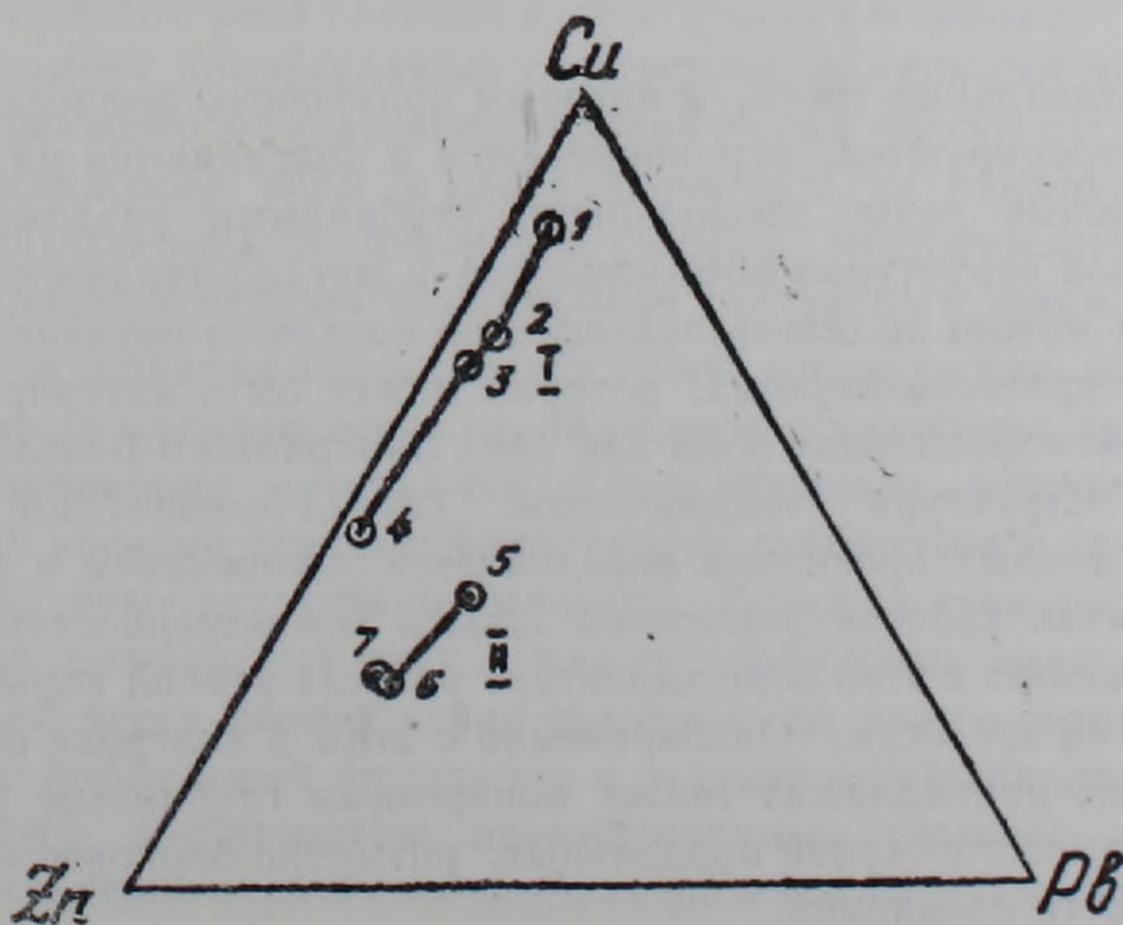


Рис. 6. Соотношение запасов меди, свинца и цинка в колчеданных месторождениях различных рудовмещающих формаций. Значения цифр см. в подписи к рис. 5.

но-карбонатная формации, парагенетически и фациально связанные с двумя последними вулканогенными формациями, 8) гранодиоритовая (позднегеосинклинальная или раннеорогенная).

Формация вторая, третья и четвертая создают первый ритм дифференциации базальтоидов толеитового ряда, пятая, шестая, седьмая и восьмая—второй ритм дифференциации известково-щелочного андезитового ряда. Перечисленный зональный ряд вулканогенных формаций и соответствующих им интрузивных комагматов отражает в возрастающей степени как временную, так и пространственную их дифференциацию в колчеданосных провинциях. Общая глобальная эволюция колчеданного оруденения также направлена на повышение степени его дифференциации.

Главным процессом, ведущим к концентрации рудного вещества колчеданных месторождений, является длительная глубинная магматическая дифференциация. Поэтому рудная проблема связана с рядом петрологических проблем. Для колчеданных месторождений она начинается с происхождения вулканогенных формаций или соответствующих вулкано-плутонических комплексов.

В обобщенном виде указанный выше ряд вулканогенных формаций, если его рассматривать в последовательности снизу вверх (от слабо дифференцированных до существенно липаритовой, наиболее отдифференцированной) представляет собой обобщенный ряд *временной* последовательности их образования в эвгеосинклинальных зонах. Как известно, существуют отклонения от этой закономерности, т. е. устанавливаются антидромные формационные ряды. Однако это не относится к колчеданосным формациям: последовательность их образования довольно выдержана от менее дифференцированных базальтовых к более дифференцированным существенно андезитовым или существенно липаритовым.

Гессинклинальные трюги, к которым приурочены колчеданные провинции, контролируются, ограничиваются и разделяются на структурно-формационные зоны продольными глубинными разломами. При асимметричной структурно-формационной и металлогенической зональности всегда можно выделить ведущую по контролю оруденения в провинции зону краевого разлома, которая может быть интерпретирована как палеосейсмофокальная зона или зона Заварицкого-Беньсфа (Смирнов, 1974). Структура геохимической (металлогенической) зональности колчеданных провинций определяется положением и условиями залегания такой краевой разломной зоны и закономерностями изменения по отношению к этой зоне характера разреза земной коры, изменения степени ее зрелости. Одновременно с этим в контроле оруденения ведущая роль принадлежит также поперечным глубинным разломам, создающим вместе с серией продольных, ритмично-блоковое строение и тип зональности провинции.

В полициклических колчеданных провинциях, таких как Кавказ и Япония, при всей сложности их длительного развития выделяется еди-

ный ряд зональности разновозрастного не только колчеданного, но и прочего эндогенного оруденения. Три основных разновозрастных пояса колчеданных месторождений Кавказа различаются составом магматизма и соответственно соотношением запасов меди, свинца и цинка. Северокавказская зона характеризуется липарито-базальтовым геосинклинальным вулканизмом и существенно цинково-медным профилем оруденения. Зона колчеданных месторождений в юрских и меловых отложениях, характеризующихся проявлением вулканизма преимущественно андезитового типа, отличается при высокой доле запасов меди относительно высоким процентом запасов и свинца. Месторождения Малого Кавказа в прогибах палеогенового возраста выделяются, в свою очередь, высокой долей цинка и свинца при незначительном количестве меди. Структура региональной геохимической зональности колчеданного оруденения на Кавказе, так же как и в Японии, оказывается более сложной, чем структура формационной зональности.

Колчеданные месторождения по своему значению—уникальная формация: происхождение—мантийное, распространены широко и присущи нескольким геосинклинальным формациям, рудная зональность—не в результате обособленной миграции самих металлов, а как отражение эволюции их порождающего магматизма.

3. Связь месторождений вольфрама, молибдена и олова, а также бериллия, тантала и ниобия с известково-щелочным гранитоидным магматизмом фанерозоя была недавно проанализирована В. С. Поповым. Исходным материалом служили описания промышленных месторождений практически всех рудных провинций земного шара, а также сведения о геологическом строении этих провинций. Пространственно-статистическому анализу были подвергнуты параметры рудообразования, относящиеся к 584 месторождениям всех континентов. Из одиннадцати типов эволюционного ряда главных магматических ассоциаций месторождения встречаются преобладающе с четырьмя орогенными ассоциациями, принадлежащими к интрузивно-вулканическим поясам островных дуг и поясам андийского типа и распадающимися на раннеорогенный и позднеорогенный этапы. В наибольшей степени месторождения связаны также с платформенным магматизмом следующего этапа.

Каждая ассоциация представляет собой совокупность шести-девяти гомодромных магматических серий-ритмов, следующих друг за другом. Все ассоциации начинаются с вулканических ритмов, которые сменяются во времени сериями фанеритовых габброидов и гранитоидов, слагающих крупные интрузивные массивы. Вслед за этим формируются серии ранних догранитных даек и малых порфировых интрузивов, затем наступает черед ранних серий гранитов, за ними—поздних серий даек и малых порфировых интрузивов и поздних серий гранитов. Самые поздние ритмы представлены незавершенными сериями базитовых даек. Сопоставление этой эволюции фанерозойского магматизма с тенденцией развития оруденения во времени показывает, что каждая магматическая серия, каждый ритм обязательно сопровождается отделе-

нием соответствующих гидротерм с возникновением серий гидротермалитов. Скопления руд, образованные в течение одного гидротермального этапа (ритма) представляют собой месторождения одного поколения. Роль отдельных серий гидротерм в промышленном оруденении весьма различна, как впрочем и роль самих магматических ассоциаций (рис. 7, 8).

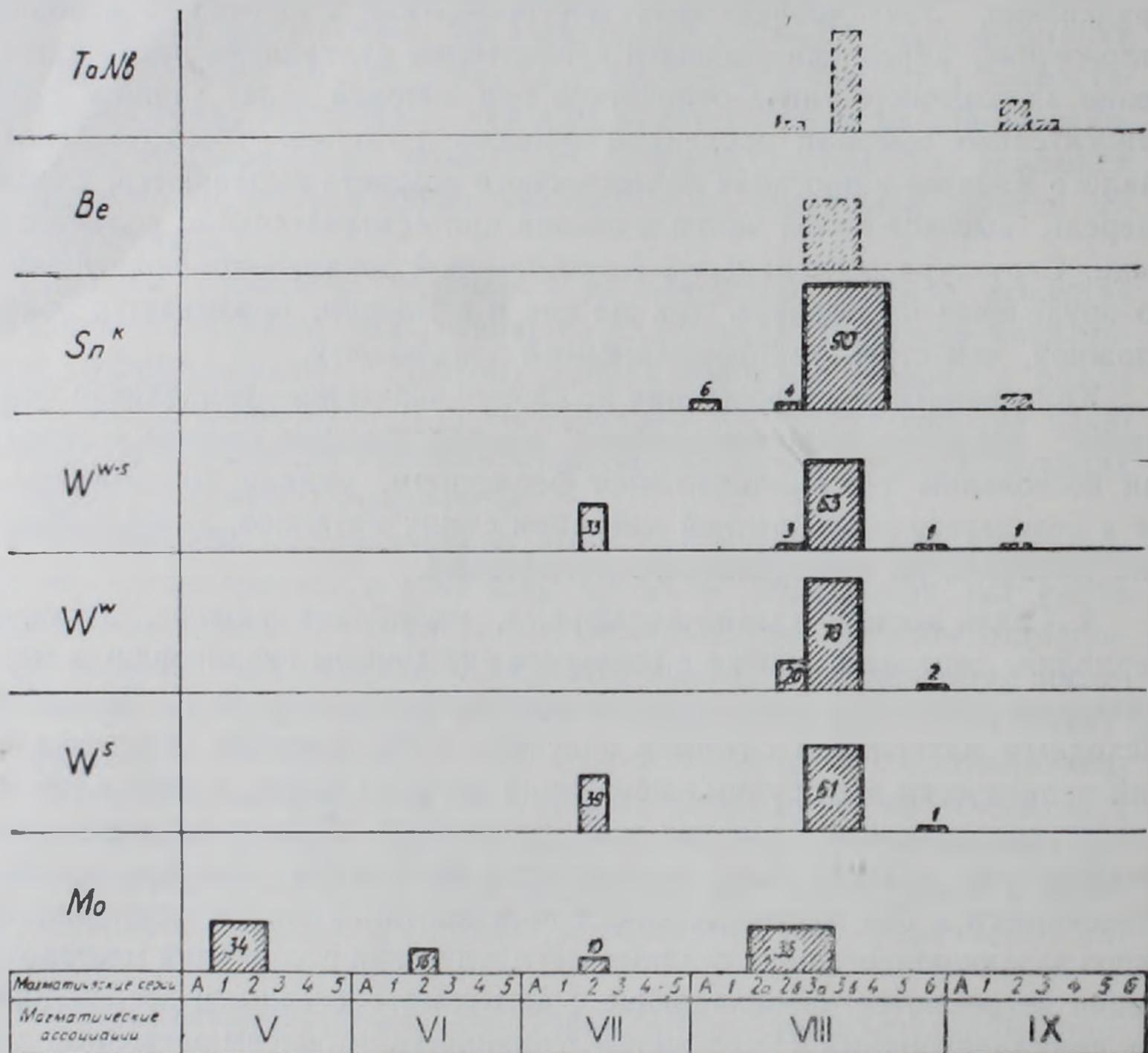


Рис. 7. Распределение запасов молибдена, вольфрама (W^S — шеелитовые, W^W — вольфрамитовые месторождения), олова, бериллия, тантала и ниобия между месторождениями, связанными с различными магматическими ассоциациями фанерозоя, а внутри ассоциаций между месторождениями, связанными с различными гидротермальными сериями. По В. С. Попову. Ассоциации: V—габбро-диорит-гранодиоритовая (базальт-андезит-дацитовая); VI — гранодиорит-гранитная (дацит-риолитовая); VII — габбро-диорит-гранодиорит-гранитная (базальт-андезит-дацит-риолитовая); VIII—габбро-снейт-гранитная (базальт-трахит-риолитовая); IX—габбро-гранитная (базальт-риолитовая) платформенная.

Гидротермалиты, образующиеся вслед за вулканическими сериями и первым интрузивным ритмом, отличаются минимальной продуктивностью, хотя набор метасоматитов в первой гидротермальной серии достаточно полон—от скарнов до пропилитов. После фанеритовых гранитов обычно формируется только одна гидротермальная серия, характеризующаяся широким развитием полевошпатовых метасоматитов и

грейзенов с малым количеством сульфидов. После серий даек и малых порфировых интрузивов обычно образуются две гидротермальные серии, с которыми связана главная масса месторождений (второе и третье поколения). Первая отличается наиболее полной последовательностью метасоматитов и преобладанием литофильного оруденения (вольфрам, молибден, олово), а вторая—преимущественным развитием Н-метасо-

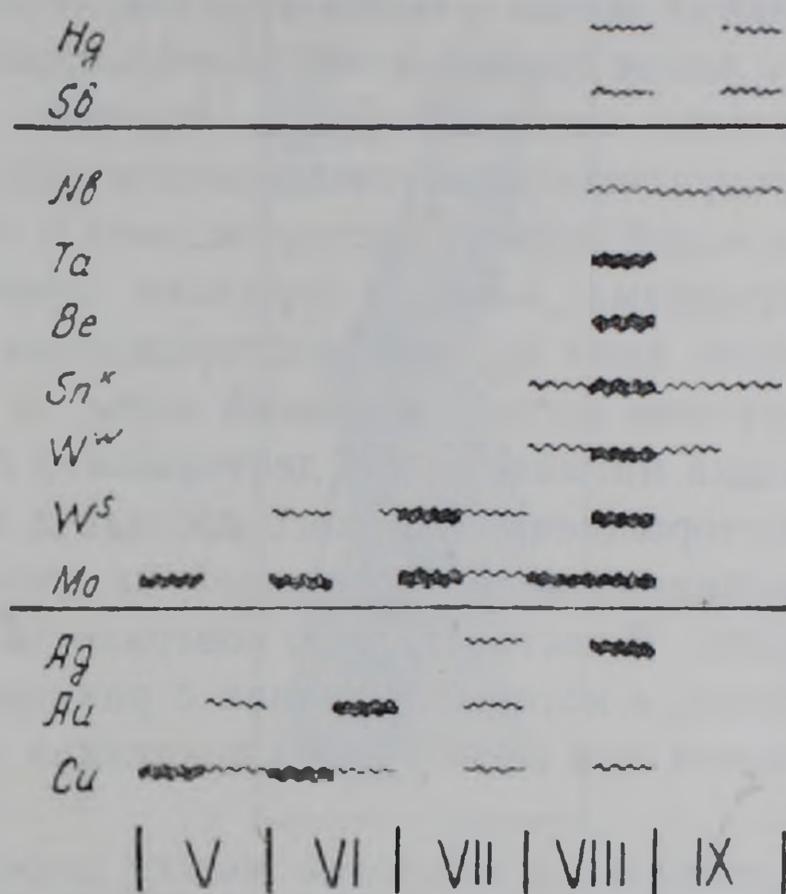
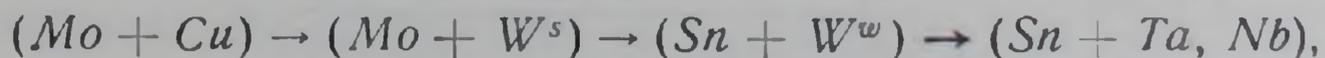


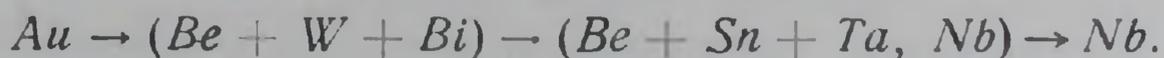
Рис. 8. Эволюция накопления различных металлов в месторождениях, связанных с последовательным рядом магматических ассоциаций фанерозоя. Значения цифр см. в подписи к рис. 7. По В. С. Попову.

матитов (кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые разности, березиты, пропилиты и пр.) и преобладанием сульфидной минерализации. Гидротермалиты четвертого и пятого поколений характеризуются преобладанием колчеданной и полиметаллической минерализации, а шестого—проявлениями сурьмы и ртути.

Качественный состав руд, связанных с однотипными гидротермальными сериями разновозрастных магматических ассоциаций, закономерно меняется во времени. В ряду V—IX ассоциаций состав руд второго поколения эволюционирует следующим образом:



в месторождениях третьего поколения:



В сульфидных парагенезисах пятого поколения месторождений первых двух магматических ассоциаций среди благородных металлов главное золото, а в последующих ассоциациях—серебро.

Размещение месторождений прежде всего определяется закономерностями распределения в пространстве тех магматических ассоциаций, с которыми они связаны. Арсалы распространения продуктивных магматических ассоциаций обычно разобщены, что является причиной

пространственной обособленности поясов медно-молибденовых, молибден-вольфрамовых и вольфрам-оловянных месторождений. Ареал распространения каждой последующей орогенной магматической ассоциации и сопряженного с ней оруденения, как правило, смещен к внешней части подвижного пояса. Наряду с этим, каждая последующая ассоциация пользуется более широким распространением и во внутренних эвгеосинклинальных зонах. Таким образом, области развития молодых ассоциаций в целом оказываются более широкими по сравнению с древними. В системе эвгеосинклиналь—краевая зона—срединный массив наиболее продуктивной является краевая зона, где сосредоточены практически все молибденовые месторождения и значительная часть месторождений вольфрама, олова и бериллия, причем все развитые здесь типы оруденения дают крупные месторождения.

Существуют крупные сегменты земной коры, в пределах которых каждая новая вспышка магматической деятельности приводит к формированию рудных месторождений сходного состава в соответствии с металлогенической специализацией, возникшей на очень ранней стадии геологической истории. В частности, всю поверхность континентов можно разделить на блоки, в которых, начиная с раннего докембрия, преобладала молибденовая или оловорудная тенденция постмагматического рудообразования.

4. Влияние распределения вещества между дифференциатами единой интрузии, между ее фазами и фациями на дифференциацию и концентрацию рассеянных металлов, на рудообразующий процесс может быть проиллюстрировано на примере Норильской никеленосной провинции (рис. 9, 10). В Талнахской габбро-долеритовой интрузии, породившей, как известно, крупнейшие концентрации медно-никелевых руд, обнаруживается резко контрастное распределение как в пространстве, так и во времени семнадцати металлов, образующих устойчивый зональный ряд (от тыла к фронту):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Ni—Ag—Cu—Co—Cr</i>					<i>—Zn—Sn—Pb—Ga—V—Mo—</i>						
1,9	2,9	3,7	3,8	4,3	8,8	9,4	9,9	10	10,6	10,8	
			12	13	14	15	16	17			
			<i>— Sr—Mn—Sc—Zr—Ba—Ti</i>								
			11,0	11,4	12,6	13,4	13,4	13,5			

Этот ряд характеризует распределение металлов в направлении движения магматического расплава: по вертикали—снизу вверх, отвечая в то же время смене отдельных горизонтов стратификации, по горизонтали—от корня к фронтальной части (рис. 9). Он же соответствует смене ранних интрузивных фаз поздними, во всех случаях—степени удаления от рудных тел. Этот же ряд свидетельствует о сходстве процессов дифференциации расплава на докамерной стадии в магматической колонне (горизонтальная зональность) и стадии внутрикамерной *in situ* (верти-

кальная зональность). Наиболее контрастным мерилем дифференциации является отношение содержаний в породе двух групп металлов, занимающих противоположные стороны зонального ряда: первых пяти тыловых металлов к шести последним передовым. Этим и воспользовался О. П. Разгонов, введя ряд эмпирических коэффициентов в качест-

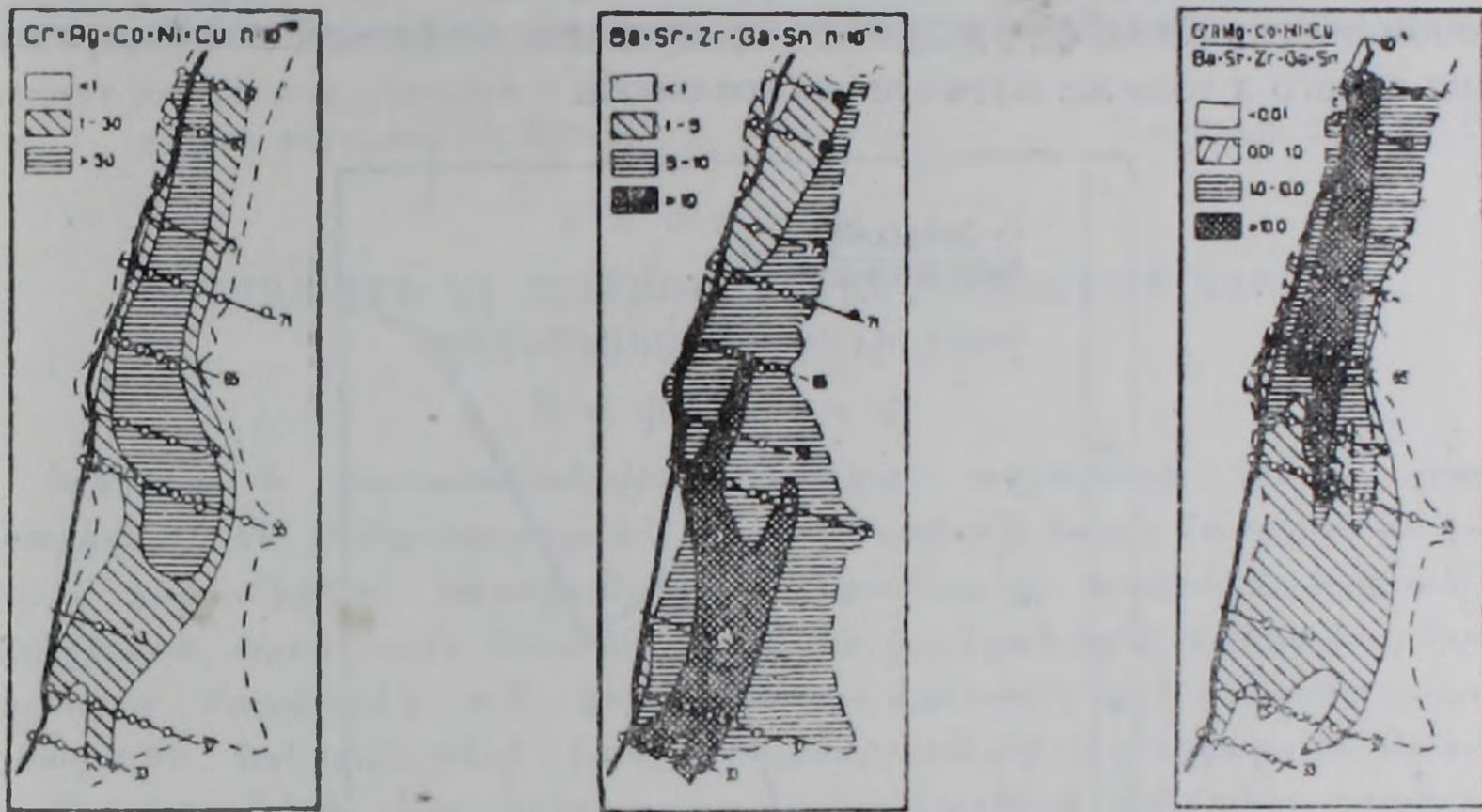


Рис. 9. Распределение мультипликативных значений тыловой и фронтальной групп элементов и коэффициента фронтальности K_f в северо-восточной ветви Талнахской интрузии габбро-долеритов. Проекция на горизонтальную плоскость.

По О. П. Разгонову.

ве геохимических критериев оценки степени дифференциации изучаемого объекта и степени близости рудного тела.

Трапповая формация провинции представлена продуктами четырех тектономагматических фаз. Первая—недифференцированные интрузии титан-авгитовых и субщелочных порфиroidных долеритов, вторая—недифференцированные интрузии пойкилоофитовых оливиновых и оливинсодержащих долеритов, третья—интрузии, дифференцированные от пикритовых габбро-долеритов, до габбро- и габбро-диоритов и четвертая—недифференцированные интрузии оливинсодержащих и оливиновых долеритов. По коэффициентам различия $K_{pCo} = \frac{Ni \cdot Cu \cdot Co \cdot Ag}{Ba \cdot Sr \cdot Zr \cdot Ti}$ и

$K_{pCr} = \frac{Ni \cdot Cu \cdot Cr \cdot Ag}{Ba \cdot Sr \cdot Zr \cdot Ti}$ уверенно можно различать продукты первой,

второй и третьей фаз, для четвертой фазы они близки к K_p второй или первой, то есть продуктивные интрузии третьей фазы весьма отличаются от интрузий трех остальных безрудных фаз.

Продуктивные массивы интрузий третьей тектономагматической фазы характеризуются стратифицированным строением, подразделяясь на четыре горизонта со сменой от подошвы к кровле более основных разностей менее основными. Последовательность изменения содержа-

ний указанных выше элементов-индикаторов в интрузиях различных тектономагматических фаз от первой к третьей и в третьей дифференцированной фазе от безоливиновых габбро-долеритов к пикритовым, а затем такситовым габбро-долеритам в общих чертах совпадает, отвечая одному и тому же приведенному выше зональному ряду. Это дает возможность предположить, что интрузии первой, второй и третьей тектономагматических фаз являются продуктами глубинной дифференциации одного и того же магматического очага.

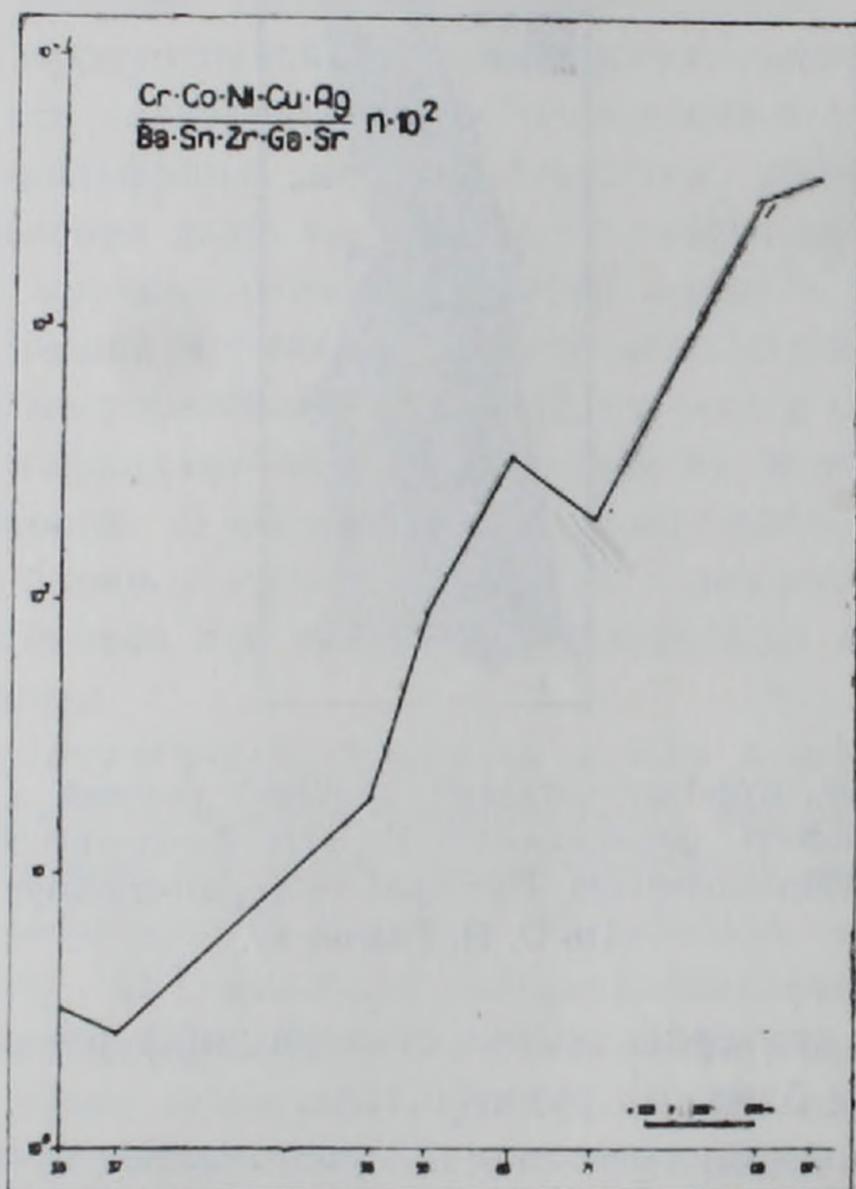


Рис. 10. График изменения значений коэффициента фронтальности K_{ϕ} вдоль северо-восточной ветви Талнахской интрузии. По О. П. Разгонову.

По выдержанности зонального ряда, оцениваемой отношением суммы порядковых номеров элементов, расположенных на противоположных концах рядов, в рудоносных дифференцированных интрузиях можно установить степень дифференциации изучаемого массива, а отсюда и степень его рудоносности. Для этой цели могут служить и коэффициен-

ты потенциальной рудоносности $K_{пр1} = \frac{Ni \cdot Cr \cdot Ag}{Zr \cdot Ti \cdot Ba}$ и $K_{пр2} = \frac{Ni \cdot Co \cdot Cu}{Zr \cdot Ba \cdot Sr}$.

Степень приближения к рудному телу в рудоносном массиве хорошо отражает коэффициент фронтальности $K_{\phi} = \frac{Cr \cdot Co \cdot Ni \cdot Cu \cdot Ag}{Ba \cdot Sn \cdot Zr \cdot Ga \cdot Sr}$.

Сульфидные медно-никелевые руды связаны с дифференцированными интрузиями, в которых вертикальная дифференциация сопровождается сходной с ней горизонтальной. Для количественной оценки изменения значений K_{ϕ} по простиранию интрузива весьма подходящим явился градиент коэффициента фронтальности— $\Gamma_{кф}$, представляющий собой

изменение K_{ϕ} на единицу длины и меняющейся на несколько порядков (рис. 10).

Таким образом, геохимическое изучение Талнахской интрузии показывает какими чувствительными индикаторами процессов магматизма являются рассеянные металлы, контрастно подчеркивающими к тому же тесную связь процесса рудообразования, накопления промышленных руд с нормальным ходом процесса магматической дифференциации.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов (ИМГРЭ)

Поступила 21.IV.1977.

Լ. Ն. ՕՎՉԻՆՆԻԿՈՎ

ՄԱԳՄԱՏԻՉՄԻ ԵՎ ՀԱՆՔԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ԿԱՊԻ ԳԵՈՔԻՄԻԱԿԱՆ ՉԱՓԱՆԻՇՆԵՐԸ

Ս. մ փ ո փ ո լ մ

Կոնկրետ և տարածական-վիճակագրական տվյալների հիման վրա քննարկվում են հանքառաջացման և մագմատիզմի կապի հարցերը, մագմատիկ դիֆերենցման ազդեցությունը հանքավայրերի առաջացման և տեղաբաշխման պրոցեսում: Առանձնացվում են կոլլեկտանային հանքավայրերը ներփակող մագմատիկ ութ ֆորմացիաներ: Հիմնավորվում է հազվագյուտ մետաղային հանքավայրերի կապը մինչքեմբրյան թթու և ալկալային մագմատիկ ապարների հետ: Երկրի բոլոր մայրցամաքների 584 հանքավայրերի տարածական-վիճակագրական տվյալները հաստատում են W, Mo, Sn, Be, Ta և Nb հանքավայրերի կապը ֆաներոզոյի կրային-ալկալային գրանիտոիդային մագմատիզմի հետ: էվգենոսինկլինալ-եզրային զոնա-միջոժովային զանգված սիստեմում արդյունավետ է եզրային զոնան (Mo, W, Sn, Be): Տալնախի գաբրո-դոլերիտային ինտրուզիվի օրինակով քննարկվում են մեկ միասնական ինտրուզիվի տարբեր ածանցյալներում մետաղների բաշխման օրինաչափությունները: Հաստատվում է 17 մետաղներից կազմված կայուն զոնալ շարքի գոյությունը, որտեղ մետաղները տարածության և ժամանակի մեջ ունեն որոշակի բաշխում: Այս շարքն ունի հետևյալ տեսքը՝ Ni—Ag—Cu—Co—Cr—Zn—Sn—Pb—Ga—V—Mo—Sr—Mn—Sc—Zr—Ba—Ti: Տալնախի ինտրուզիվի գեոքիմիական ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, թե մագմատիկ պրոցեսներում ինչպիսի զգայուն ցուցանիշներ են ցրված մետաղները, որոնք ընդգծում են հանքառաջացման կապը մագմատիկ դիֆերենցման բնականոն ընթացքի հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.
2. Овчинников Л. Н. Прогнозная оценка мировых запасов металлов в месторождениях «суши». ДАН СССР, т. 196, № 3, 1971.
3. Овчинников Л. Н. Геологические процессы рудобразования (к основам систематики). В кн.: «Редкометалльные месторождения, их генезис и методы исследования», М., 1972.
4. Овчинников Л. Н., Баранов В. Д., Жабин А. Г. Актуальные проблемы геологии колчеданных месторождений. В сб.: «Доорогенная металлогения геосинклиналей», Свердловск, 1976.
5. Овчинников Л. Н., Солодов Н. А. Некоторые аспекты редкометальной металлогении докембрия. В кн.: «Проблемы металлогении докембрия», «Наука», Л., 1977.