

ЭНДОГЕННЫЕ
ЗОНЫ РАССЕЯНИЯ
НЕКОТОРЫХ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГОСГЕОТЕХИЗДАТ

Е. М. ЯНИШЕВСКИЙ, С. В. ГРИГОРЯН,
Э. Н. БАРАНОВ, Г. И. ВЕРТЕПОВ, А. Д. КАБЛУКОВ

553.065

ЭНДОГЕННЫЕ
ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ
НЕКОТОРЫХ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР
МОСКВА 1963



ПРЕДИСЛОВИЕ

В результате применения геохимических методов с целью поисков месторождений полезных ископаемых в нашей стране и за рубежом накоплен огромный материал, характеризующий распределение концентраций химических элементов в рыхлых отложениях. Однако характеристике эндогенных ореолов рассеяния посвящены лишь отдельные работы (преимущественно журнальные статьи). В связи с этим мы считали полезным в отдельной книге дать детальное описание эндогенных ореолов рассеяния ряда химических элементов, образующихся вокруг рудных тел некоторых свинцово-цинковых и урановых месторождений, и рассмотреть некоторые закономерности рассеяния элементов в коренных породах.

Подобная характеристика ореолов рассеяния в литературе приводится впервые. Как первый опыт она, несомненно, имеет ряд недостатков. Прежде всего, остались слабо изученными ореолы рассеяния сурьмы, мышьяка, кадмия, висмута и некоторых других элементов. Недостаток общих материалов по этому новому вопросу не позволил дать исчерпывающее объяснение ряда закономерностей распределения химических элементов при эндогенном рассеянии.

Несмотря на это, мы все же считаем целесообразным ознакомить широкий круг геологов с имеющимся фактическим материалом и некоторыми выводами, связанными с использованием ореолов рассеяния элементов при поисках и разведке месторождений.

Настоящая книга написана коллективом авторов. Введение и главы I, II и III написаны Е. М. Янишевским, глава IV — С. В. Григоряном, глава V — Г. И. Вертеповым и С. В. Григоряном, глава VI — Э. Н. Барановым, глава VII — Э. Н. Барановым совместно с С. В. Григоряном, глава VIII — Е. М. Янишевским совместно с А. Д. Каблучковым.

Научное руководство работами и общее редактирование книги выполнялось Е. М. Янишевским.

Спектральные анализы производились аналитиками Э. В. Мозалевской и А. Н. Рябцевой. Химические анализы выполнялись под руководством Б. М. Елоева.

В оформлении книги большое участие приняли сотрудники В. Г. Матвеевко и Т. С. Суслова.

При работе над книгой авторы использовали ценные советы и указания Ю. А. Арапова, И. И. Гинзбурга, Я. Д. Готмана, А. И. Зубова, А. А. Саукова, А. П. Соловова, Д. Я. Суражского, Н. А. Хрущева. Всем этим лицам авторы выражают глубокую благодарность.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие геохимии как науки о миграции химических элементов позволило расширить наши представления о составе земной коры, о процессах ее формирования, а также получить новые представления об образовании рудных месторождений. В свою очередь разработка массовых методов количественного определения химических элементов, используемых геохимией, дала возможность уже в количественном выражении решать многие геологические вопросы как общего, так и частного характера.

В становлении этой новой науки особенно велики заслуги таких ученых, как В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, В. М. Гольдшmidt, А. П. Виноградов.

В результате работ геохимиков сделаны многие важные теоретические обобщения, в том числе такие, которые легли в основу разработки геохимических методов поисков полезных ископаемых и, в особенности, месторождений цветных и редких металлов.

В связи с этим в последнее время все больше расширяется применение геохимических методов при геологопоисковых работах, и дальнейшая разработка их является одной из наиболее важных проблем геохимии.

Одним из геохимических методов, который уже более 25 лет особенно широко используется в СССР, является металлотрическая съемка рыхлых отложений. С помощью этого метода проводятся поиски месторождений меди, свинца, цинка, олова, ртути, урана и многих других полезных ископаемых. Применение этого метода позволяет выявлять вторичные ореолы рассеяния химических элементов и по ним обнаруживать месторождения с рудными телами, перекрытыми рыхлыми отложениями, т. е. месторождения и рудные тела или эндогенные ореолы, вскрытые эрозией. В результате применения металлотрической в СССР было открыто много новых рудных месторождений.

В развитии металлотрических работ в СССР большую роль сыграли исследования, проведенные Н. И. Сафроновым, Е. А. Сергеевым, А. П. Соловьевым и многими другими.

Необходимо подчеркнуть, что успехи, полученные при применении металлотрической для поисков различных полезных ископаемых по вторичным ореолам рассеяния, касаются только поисков месторождений с рудными телами, вскрытыми эрозией и перекрытыми рыхлыми отложениями. В то же время имеется насущная потребность в разработке методов поисков месторождений с рудными телами, не вскрытыми эрозией и не выходящими на дневную поверхность, т. е. скрытых (слепых) рудных тел. Для решения этой задачи весьма важное значение имеет изучение эндогенных (первичных) ореолов рассеяния, так как закономерности эндогенного рассеяния химических элементов, как мы увидим ниже, позволяют применять геохимические методы на широкой

геологической основе, что существенно будет отличать их от металлометрических методов.

Впервые эндогенное рассеяние металлов в боковых породах, вмещающих рудные тела, было описано Финлейсоном. Опробуя через определенные интервалы породы, вмещающие рудную жилу со свинцово-цинковым оруденением, он получил кривую рассеяния свинца и цинка, очень близкую к теоретической кривой диффузии. Ширина ореола рассеяния свинца и цинка в исследованном им случае достигала 6 м от тела жилы.

А. Е. Ферсман в своей работе «Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых» (1939) впервые указал на широкое значение эндогенного рассеяния химических элементов. Им было отмечено, что «максимальная концентрация вещества наблюдается лишь в определенных участках, тогда как вокруг самого месторождения мы наблюдаем ореол первичного рассеяния. Это типично для хромита, магнетита и титаномагнетита, если говорить о высокотемпературных процессах, для оловянного камня или медных руд — для температур более низких». Тем самым А. Е. Ферсман указал на то, что химические элементы, находящиеся в рассеянной форме во вмещающих рудные тела породах, могут являться признаками рудных тел.

Этот геохимический признак является весьма важным, а в ряде случаев, как мы увидим ниже, может быть решающим при поисках рудных тел гидротермального образования, не вскрытых эрозией.

В дальнейшем ряд авторов занимался изучением эндогенных ореолов рассеяния. Г. С. Ловеринг, Е. П. Соколов и Х. Т. Моррис (1948) проводили такие работы в районе Восточного Тинтика (США). Они наблюдали над скрытыми свинцово-цинковыми рудными телами, залегающими на глубине 200 футов, повышенные содержания тяжелых металлов (цинк, свинец, серебро) и считали, что эти данные могут быть использованы для поисков скрытых рудных тел. Ими было обращено внимание на важность изучения первичного содержания химических элементов во вмещающих породах и указано на связь ореолов рассеяния с околорудными изменениями. Эти авторы высказали также предположение о том, что рассеяние элементов происходило путем диффузии.

В СССР среди исследователей этого направления следует отметить Г. И. Россмана (1957, 1960) и К. М. Муканова (1957), проводивших работы на полиметаллических месторождениях Рудного Алтая и Центрального Казахстана. Опробуя коренные породы около рудных тел по единичным профилям, эти авторы обнаружили ореолы рассеяния свинца, цинка, меди и ряда других рудных элементов. Они обратили внимание на большую роль проницаемости пород при образовании ореолов рассеяния и высказали предположение о зависимости размеров ореолов рассеяния от размеров рудных тел и месторождений.

В. З. Фурсовым (1958) изучались ореолы рассеяния ртути на свинцово-цинковом месторождении Ачи-Сай в Южном Казахстане. Им была выяснена важность ртути как индикатора рудных тел.

Следует отметить весьма интересные работы О. В. Вершковской (1956), Н. А. Озеровой (1958), В. П. Федорчука, В. Э. Пояркова и О. А. Манучаряна (1959), Н. И. Сафронова (1959).

Многие из этих авторов, так же как Г. И. Россман и К. М. Муканов, отмечали значительное развитие ореолов рассеяния химических элементов над рудными телами и считали это важной особенностью, которая с успехом может быть использована при поисках рудных тел, не вскрытых эрозией.

Основным недостатком этих работ является то, что ореолы рассеяния изучались в большинстве случаев по единичным профилям.

В связи с этим закономерности распределения различных химических элементов в них остались слабо исследованными, в особенности характер распределения их концентрации над рудными телами и под ними, а также общие параметры ореолов.

Впервые эти вопросы были освещены в работе А. Д. Каблукова и Г. И. Вертепова (1960), где авторы дали детальное описание первичных ореолов рассеяния, образующихся вокруг урановых рудных тел, и зональности их строения.

Кроме указанных исследований, опубликовано также несколько общих работ, касающихся первичных ореолов рассеяния и возможности их использования для поисков рудных тел, не вскрытых эрозией. Среди них могут быть отмечены работы А. А. Саукова, В. И. Смирнова, И. И. Гинзбурга, В. И. Красникова, В. В. Поликарпочкина, Н. И. Сафронова и некоторых других.

Перечисленные выше работы показывают, что изучение первичных ореолов рассеяния химических элементов, образующихся вокруг рудных тел и месторождений свинцово-цинковых, полиметаллических, ртутных, оловянных, литиевых и др., является очень важным новым направлением работ по прикладной геохимии.

Нами в течение ряда лет проводились работы по детальному изучению первичных ореолов рассеяния некоторых гидротермальных месторождений.

Прежде всего, основное внимание уделялось изучению особенностей строения рудных тел, их минералогического и химического состава, состава вмещающих пород, структуры месторождений, а также выявлению закономерностей рассеяния различных химических элементов в коренных породах, вокруг известных рудных тел и рудоносных зон.

Изучались морфология ореолов рассеяния, состав, распределение концентраций химических элементов в них, окolorудные изменения и их связь с ореолами рассеяния. При этом одной из главных задач являлось выявление зональности строения ореолов рассеяния.

При формировании эндогенных ореолов рассеяния химических элементов вокруг рудных тел решающую роль играют следующие основные геологические факторы: а) особенности процесса рудообразования — состав рудоносных растворов, стадийность и физико-химические условия рудоотложения; б) структурные особенности строения ореола рассеяния, форма и условия залегания рудных тел и рудовмещающих структур, интенсивность трещиноватости; в) состав вмещающих пород, их реакционная способность по отношению к воздействию гидротермальных растворов, физические свойства (пористость, способность к трещинообразованию и т. п.).

Приводимые ниже материалы по характеристике эндогенных ореолов рассеяния относятся в основном к двум группам месторождений: свинцово-цинковым и урановым.

Руды месторождений первой группы представлены в основном сульфидами свинца и цинка. Кроме них, в незначительном количестве присутствуют мышьяк, сурьма, медь, висмут.

Основным рудным компонентом, слагающим урановые руды, является уран. В некоторых рудных телах в повышенном количестве встречаются также свинец и молибден.

По условиям залегания все изученные нами рудные тела могут быть разделены на две основные группы: а) рудные тела, приуроченные к крутопадающим трещинным зонам; б) рудные тела, приуроченные к пологозалегаящим рудоносным структурам.

Свинцово-цинковые рудные тела залегают в скарнированных известняках и в одном случае — в скарнированных конгломератах.

Вмещающими породами урановых месторождений являются туфы и туфолавы кварцевых порфиров, фельзит-порфиры, кварцевые порфиры, гранит-порфиры и граносиенит-порфиры.

Все изученные месторождения характеризуются слабым проявлением гипергенных процессов.

Изучение эндогенных ореолов рассеяния проводилось на месторождениях, вскрытых горными выработками и буровыми скважинами. Исследовались участки ореолов, расположенные ниже и выше рудных тел.

Рассеяние химических элементов в коренных породах изучалось нами вокруг рудных тел и на поверхности путем геохимического опробования горных выработок, буровых скважин и естественных обнажений. Опробование проводилось по профилям, располагающимся вкrest простираения рудных тел и рудоносных зон. Одновременно проводилось изучение окolorудных изменений, структурных особенностей ореола рассеяния, минералогического состава рудных тел и других геологических вопросов, необходимых для более полного познания эндогенных ореолов рассеяния.

Определение содержаний почти всех химических элементов проводилось методом полуколичественного спектрального анализа, а определение урана — химическим, люминесцентным. Анализы в основном проводились на месте работ.

После исследований ореолов рассеяния около известных вскрытых горными выработками и буровыми скважинами скрытых рудных тел геохимические исследования на основе выявленных при этом закономерностей проводились на новых перспективных площадях.

В настоящей работе проводится описание лишь наиболее полно вскрытых и более детально изученных месторождений.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЯНИЯ И ГЕОХИМИЧЕСКОМ ФОНЕ

Эндогенные — первичные ореолы рассеяния представляют собой тяготеющие к рудным телам и месторождениям участки рудовмещающих пород, характеризующиеся повышенным содержанием химических элементов, привнесенных рудоносными гидротермальными растворами.

Такие участки или окаймляют рудные тела, образуя ореолы рассеяния вокруг отдельных тел, или локализуются на рудоносных площадях вдоль рудоносных зон и в самих зонах, образуя ореолы рассеяния около группы рудных тел.

Происходящее под действием гидротермальных растворов в пределах ореолов рассеяния преобразование породообразующих минералов, совершающееся за счет привноса породообразующих химических элементов и за счет их перераспределения, рассматривается нами как процесс околорудных изменений вмещающих пород.

Околорудные изменения часто являются сложным многостадийным процессом, развивающимся как до рудоотложения и одновременно с ним, так и после него. Образование же эндогенных ореолов рассеяния происходит преимущественно во время привноса и отложения рудного вещества. Процесс образования ореолов, накладываясь на измененные уже коренные породы, в то же время приводит к дальнейшему изменению химического и минералогического состава этих пород. Таким образом, эндогенные ореолы рассеяния химических элементов вокруг рудных тел являются одной из форм проявления процесса околорудных изменений.

Следует при этом отметить, что образование новых минеральных форм в процессе околорудных изменений может происходить при участии химических элементов как привнесенных, так и перераспределенных. Одним из типичных примеров здесь будет образование пирита за счет привнесенной серы и перераспределенного железа.

Таким образом, изучение эндогенных ореолов рассеяния следует проводить одновременно с исследованием околорудных изменений, состава и других особенностей рудных тел.

Особенно необходимо изучать химический состав вмещающих пород, так как они служат фоном, на котором вокруг рудных тел и развиваются процессы рассеяния химических элементов. В связи с этим на первоначальной стадии геохимического изучения ореолов рассеяния важно установить геохимический фон каждого химического элемента, содержащегося во вмещающих породах.

За геохимический фон элементов нами принималось наиболее часто встречающееся для данной разновидности неизменных пород значение содержания первично распределенного химического элемента.

Для определения моды распределения частот содержаний химических элементов в породах прежде всего выявлялся характер распределения содержаний химических элементов. С этой целью опробовались различные разновидности рудовмещающих пород как интрузивных (граниты, гранодиориты) и экструзивных (графит-порфиры, кварцевые порфиры), так и эффузивных (фельзиты, туфолавы).

Как показали наши исследования, во всех этих породах района работ распределение содержаний интересующих нас химических элементов подчиняется логарифмически нормальному закону, что позволяет путем построения кривой распределения частот содержаний химических элементов определить моду их распределения, которая соот-

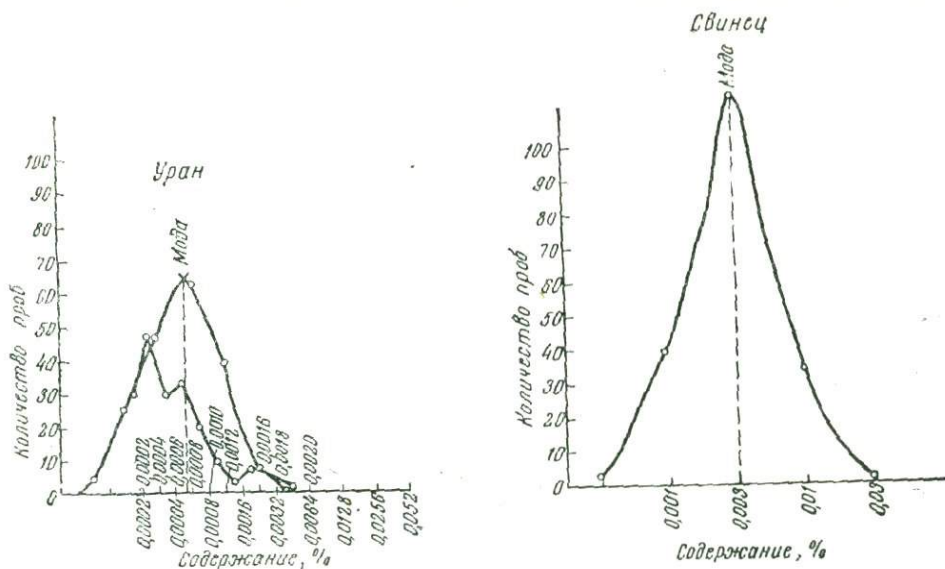


Рис. 1. Кривые распределения частот содержаний урана и свинца в гранитах

ветствует геохимическому фону. Для этого по оси абсцисс откладываются интервалы содержаний, возрастающие в геометрической прогрессии, а по оси ординат в линейном масштабе — частоты содержаний этих интервалов.

На рис. 1 показан случай построения графиков для определения геохимического фона урана. Построенные таким способом кривые распределения частот различных содержаний урана представляют собой кривую логарифмически нормального распределения со строго симметричными относительно моды ветвями. В данном случае коэффициент прогрессии для урана принят нами равным 2, что позволяет с необходимой точностью вывести величину геохимического фона.

На этом же рисунке для урана приводится кривая распределения частот, построенная с интервалами содержаний, возрастающих по арифметической прогрессии. Эта кривая является ломаной линией с несколькими максимумами. Очевидно, что по такой кривой невозможно определить величину геохимического фона.

Указанным выше способом можно строить кривые распределения частот содержаний первичного распределения химических элементов в коренных породах не только по химическому количественному (люминесцентному) анализу, как это было сделано для урана, но и по данным полуколичественного спектрального анализа, широко применявшегося нами при изучении эндогенных ореолов рассеяния. В последнем случае содержание элементов давалось в пределах половины порядка. Поэтому коэффициент прогрессии принимался равным 3.

Как следует из рис. 1, кривая распределения частот содержаний свинца также подчиняется логарифмически нормальному закону и позволяет однозначно определить его фоновое содержание. Очевидно, что для построения описанным выше способом кривых распределения содержаний химических элементов в породах нужно использовать данные анализа проб, отобранных за пределами площади, на которой проявлены гидротермальные процессы (околорудные изменения), и характеризующих именно первичное распределение химических элементов в породах. Для построения такого рода кривых, как показывает опыт, достаточно иметь 100—150 проб.

После того, как определена величина геохимического фона, следует определить минимальное аномальное содержание элемента, по которому производится оконтуривание ореола рассеяния. За минимальное аномальное содержание подвижного урана нами принято 2 ГФ, а для элементов, определяемых методом спектрального анализа, 3 ГФ, так как результаты этого анализа даются в пределах половины порядка.

Когда чувствительность анализа на данный элемент недостаточна, левая ветвь кривой распределения содержаний химических элементов отсутствует, и кривая обрывается, не достигая моды (максимума).

В этом случае оконтуривание ореолов рассеяния следует вести по значимым пробам или в зависимости от необходимости применять более чувствительный метод анализа.

ГЛАВА II

СОСТАВ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ-ИНДИКАТОРЫ РУДНЫХ ТЕЛ

Как указывалось выше, образование эндогенных ореолов рассеяния химических элементов следует рассматривать как одну из форм проявления околорудных изменений. Однако наряду с формированием ореолов рассеяния за счет привноса химических элементов рудоносными растворами следует иметь в виду, что образование их является в то же время одной из форм проявления процесса рудоотложения.

В связи с этим характеристика ореолов рассеяния в значительной мере должна определяться геохимическими, минералогическими и другими особенностями рудных тел. Это подтверждается в первую очередь при изучении элементарного состава ореолов рассеяния.

В свинцово-цинковых и урановых рудных телах и их ореолах рассеяния, как показало изучение, находится ряд основных химических элементов в повышенном количестве по сравнению с первичным их содержанием во вмещающих породах (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что для свинцово-цинковых месторождений наблюдается сходство состава не только рудных тел и ореолов рассеяния, но и рудных тел отдельных месторождений.

Для урановых месторождений также обнаруживается сходство состава рудных тел и ореолов рассеяния, однако состав элементов ореолов рассеяния отдельных урановых месторождений различается между собой, как и состав химических элементов отдельных рудных тел. Так, для рудных тел месторождения, залегающего в кислых эффузивах, отмечается повышенное содержание циркония, тогда как в составе рудных тел других месторождений он не содержится; никель и кобальт характерны для рудных тел только месторождения, залегающего в гранитах. Эти же различия повторяются полностью и в составе ореолов рассеяния.

Отмеченное выше закономерное сходство составов химических элементов, встречающихся в повышенном количестве в рудных телах

Состав рудных тел и ореолов рассеяния

№ п/п	Месторождение	Химические элементы	
		в рудных телах	в ореолах рассеяния
1	Месторождения с крутопадающими рудными телами	Цинк, свинец , кадмий, медь, мышьяк, сурьма, серебро, висмут	Цинк, свинец, мышьяк, медь, сурьма, серебро, висмут, кадмий
2	Месторождения с пологозалегающими рудными телами	Цинк, свинец , сурьма, мышьяк, серебро, кадмий, висмут, медь	Цинк, свинец, сурьма, мышьяк, серебро, кадмий, висмут, медь
3	Месторождение, залегающее в гранитах	Уран, свинец, цинк , медь, молибден, мышьяк, никель, кобальт, серебро	Уран, свинец, цинк, медь, молибден, мышьяк, никель, кобальт, серебро
4	Месторождение, залегающее в кислых эффузивах	Уран , свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро, цирконий, ртуть	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро, цирконий, ртуть
5	Месторождение, залегающее в фельзитах	Уран , свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро

Примечание. 1. В составе рудных тел жирным шрифтом выделены основные рудообразующие элементы.

2. Химические элементы, входящие в состав ореолов, перечислены в порядке уменьшения их концентрации.

и ореолах рассеяния, позволяет, таким образом, на основе изучения ореолов рассеяния распознавать качественный состав рудных тел. В связи с этим химические элементы, образующие ореолы рассеяния вокруг конкретных рудных тел, являются их индикаторами.

Эта особенность ореолов рассеяния имеет большое значение для поисков месторождений и рудных тел, не вскрытых эрозией, так как они являются важным прямым поисковым признаком.

Однако не все химические элементы-индикаторы имеют одинаковое значение при поисках гидротермальных месторождений полезных ископаемых. Это обуславливается в первую очередь рядом особенностей процесса рудоотложения, среди которых наиболее важной является наличие первичной зональности в строении рудных тел.

Изучению зональности рудных тел уделяли внимание многие исследователи как в СССР, так и за рубежом. Среди них в первую очередь следует отметить работы С. С. Смирнова (1937), А. Г. Бетехтина (1949), Ю. А. Билибина (1951), Д. С. Коржинского (1953) и некоторых других.

Все известные примеры первичной зональности можно свести к двум типам: пульсационной зональности, установленной С. С. Смирновым, и зональности отложения, описанной Ю. А. Билибиным.

Первая из них обусловлена неравномерным распределением в пространстве минеральных ассоциаций разных стадий минералообразования. Такая зональность может наблюдаться в отдельных рудных телах и в группе рудных тел. Этот тип зональности проявляется на месторождениях, характеризующихся многостадийностью процесса рудообразования.

В отличие от пульсационной зональность отложения проявляется в рудных телах, сформированных в одну стадию минералообразования, и выражается в постепенном уменьшении с глубиной содержания одних химических элементов при увеличении содержания других. Зональность отложения может проявляться в каждом рудном теле.

Различное значение отдельных химических элементов как элементов-индикаторов рудных тел определяется прежде всего связью химических элементов с различными стадиями минералообразования. Очевидно, химические элементы, выделившиеся в рудном теле в ту же стадию, что и промышленно ценные минералы, являются наиболее надежными индикаторами, так как они прямым образом указывают на наличие в рудных телах искомым рудных элементов. Такие химические элементы можно назвать прямыми элементами-индикаторами.

Химические элементы, связанные с дорудными или послерудными стадиями минералообразования, являются менее надежными индикаторами, так как они могут лишь косвенно указывать на наличие в составе рудных тел промышленно ценных минералов. Такие химические элементы называются косвенными элементами-индикаторами.

Следует отметить, что при поисках скрытых рудных тел в качестве индикаторов используются и отдельные минералы. Значение их как индикаторов рудных тел также определяется характером связи их с различными стадиями рудообразования. В связи с этим минералы-индикаторы можно разделить на две группы: прямые минералы-индикаторы и косвенные минералы-индикаторы.

ГЛАВА III

МЕТОДИКА ОТБОРА И АНАЛИЗА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ

Методика опробования. Геохимическое опробование коренных пород для изучения эндогенных ореолов рассеяния химических элементов проводилось по профилям, расположенным вкрест простирания рудных тел. Расстояние между профилями определялись протяжением ореола рассеяния по простиранию и степенью детальности исследований.

На изученных нами месторождениях ореолы рассеяния распространяются по простиранию на расстояние не менее 80—100 м. Профили располагались не более чем через 40—50 м из расчета пересечения ореола рассеяния не менее чем двумя профилями.

На месторождениях, недостаточно вскрытых горными выработками или скважинами, изучение ореолов проводилось по одиночным профилям.

Пробы отбирались точечным методом на расстоянии 5 м друг от друга по 4—6 кусочков породы с учетом возможно большей равномерности освещения опробуемого интервала. Размер кусочков составлял 3—4 см в поперечнике. Из материала тектонических трещин кусочки отбирались отдельно, так как там устанавливается обычно резко повышенное содержание химических элементов, образующих ореолы рассеяния. Кусочки проб по интервалу объединялись в одну пробу, вес которой составлял обычно 150—200 г. Пробы дробились и после квартования истирались до 200 меш.

Выбор интервала опробования проводился нами с таким расчетом, чтобы повышенные (или «аномальные») содержания химических элементов в ореоле фиксировались не менее чем по двум пробам.

На изученных нами месторождениях максимальная ширина ореолов рассеяния достигала 60—80 м; ширина полей ореолов высокой концентрации составляла около 10 м. Для оконтуривания ореолов с высокими концентрациями химических элементов расстояние между пробами (шаг опробования) принималось 3—5 м. При меньшей ширине ореолов рассеяния интервал опробования должен быть соответственно меньше.

Результаты извлечения урана из горных пород в зависимости от времени кипячения

Порода и номер образца	Количество извлеченного урана при времени кипячения							
	0,5 час		1,0 час		1,5 час		2,0 час	
	вес. %	% от общего содержания в пробе	вес. %	% от общего содержания в пробе	вес. %	% от общего содержания в пробе	вес. %	% от общего содержания в пробе
Гранитоиды, обр. 448	$126 \cdot 10^{-5}$	35	$135 \cdot 10^{-5}$	38	$135 \cdot 10^{-5}$	38	$162 \cdot 10^{-5}$	45
Гранитоиды, обр. 451	$36 \cdot 10^{-5}$	34	$45 \cdot 10^{-5}$	41	$45 \cdot 10^{-5}$	41	$54 \cdot 10^{-5}$	50
Кислые эффузивы, обр. 443	$27 \cdot 10^{-5}$	75	$32 \cdot 10^{-5}$	88	$30 \cdot 10^{-5}$	83	$32 \cdot 10^{-5}$	88
Кислые эффузивы, обр. 445	$540 \cdot 10^{-5}$	61	$630 \cdot 10^{-5}$	70	$650 \cdot 10^{-5}$	72	$650 \cdot 10^{-5}$	72

Методика анализа. Содержание урана в пробах определялось люминесцентным методом с химической подготовкой пробы, причем учитывалось не общее содержание урана, а только уран, находящийся в легкорастворимой форме («подвижной» уран).

Обработка навески производилась 2%-ным раствором соды с добавлением небольшого количества перекиси водорода при кипячении в течение 0,5 часа. Чувствительность определения составляла $1 \cdot 10^{-5}$ %. Эта методика высоко производительна. При достаточном опыте один лаборант в состоянии выполнить до 30 определений в смену.

Для проверки правильности выбора времени кипячения при разложении навесок нами были проведены опыты с разным временем кипячения (аналитик Б. М. Елоев). Результаты таких опытов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что при нагревании в течение 0,5 часа почти весь уран, находящийся в пробе в легкорастворимой форме, извлекается достаточно полно. При более длительном кипячении дополнительное количество извлеченного урана невелико (10—12%) и во внимание может не приниматься.

Одновременно с этим извлечение подвижной формы урана проводилось 5%-ным раствором углекислого аммония, также с прибавлением небольшого количества перекиси водорода. В этом случае навеска пробы нагревалась в течение 1 часа.

Результаты определений показывают, что углекислым аммонием извлекается то же количество урана, что и при обработке навески содой в течение 0,5 часа.

В отобранных пробах, кроме урана, полуколичественным спектральным анализом определялись содержания свинца, цинка, серебра, мышьяка, меди, сурьмы, кадмия, висмута, молибдена, марганца, титана, кобальта, никеля, олова, циркония, бериллия, хрома, ванадия, бария.

Практика наших работ показала, что при массовых геохимических исследованиях в полевых условиях полуколичественный спектральный анализ обеспечивает получение необходимых аналитических данных. Для проверки результатов полуколичественного анализа пробы частично анализировались количественным спектральным или химическим методами. Данные количественного анализа всегда укладываются в градации результатов, полученных полуколичественным спектральным анализом. Определение цинка при изучении разрезов ореолов рассеяния проводилось полярографическим методом.

Для выявления ореолов рассеяния химических элементов и установления их размеров большое значение имеет чувствительность применяемых методов анализа на отдельные элементы. В табл. 3 приведены данные порога чувствительности спектрального и люминесцентного методов анализов на перечисленные выше элементы. Значения величины чувствительности на эти же элементы нами даны также в числах, кратных их кларковым содержаниям во вмещающих породах. Кларковые содержания даны по А. П. Виноградову (1962).

Таблица 3

Таблица величин чувствительности анализов на химические элементы

Химические элементы	Кларк элементов, вес. %		Порог чувствительности анализа, вес. %	Порог чувствительности, в кларках	
	в изверженных породах	в осадочных породах		в изверженных породах	в осадочных породах
Спектральный анализ					
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,62	0,5
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	1,33	1,37
Серебро	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	14	10
Ртуть	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	1,7	0,25
Таллий	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,6	0,5
Мышьяк	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	58	15,2
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,018
Сурьма	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	196	50
Кадмий	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	770	330
Висмут	$9 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	1100	100
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	1,80	1,5
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,010	0,01
Титан	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,0023	0,0022
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,55	0,435
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,17	0,11
Олово	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,40	0,33
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,059	0,050
Бериллий	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,30	0,3
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,12	0,01
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0,047	0,038
Ванадий	$9 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,11	0,077
Люминесцентный анализ					
Уран	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,038	0,034

По величине чувствительности анализа, выраженной в кларковых содержаниях, можно выделить две группы химических элементов.

1. Элементы с порогом чувствительности применяемого метода анализа меньше кларка. При такой чувствительности можно оконтурить истинные ореолы рассеяния этих элементов. К этой группе относятся: свинец, таллий, медь, марганец, титан, кобальт, никель, цирконий, олово, бериллий, хром, ванадий, барий, уран.

2. Элементы с порогом чувствительности методов анализа, превышающим кларк; эта чувствительность недостаточна для выявления истинных ореолов рассеяния. При такой чувствительности анализа могут быть оконтурены поля ореолов рассеяния лишь со сравнительно высокими концентрациями элементов, тогда как периферийные части поля ореолов рассеяния элементов, отличающиеся, как правило, низкими концентрациями элементов, не будут выявлены. Очевидно, что размеры ореолов в этом случае тем больше будут отличаться от истинных, чем больше величина чувствительности на данный элемент превышает единицу. Элементами с чувствительностью применяемого спектрального анализа, намного превышающей единицу, являются кадмий (для средних пород величина чувствительности в кларках 770 и для осадочных 330), сурьма (соответственно 196 и 50), мышьяк (58 и 15), висмут (1100 и 100).

Из табл. 3 следует также, что порог чувствительности спектрального анализа на такие элементы, как цинк, серебро и молибден, превышает их кларковое содержание лишь незначительно. Это означает, что размеры ореолов рассеяния этих элементов, выявленных спектральным методом анализа, практически не будут отличаться от истинных.

В данной работе ореолы рассеяния химических элементов выявлены при величинах чувствительности, приведенных в табл. 3.

ГЛАВА IV

ЭНДОГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОКРУГ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Эндогенные ореолы рассеяния химических элементов, образующиеся вокруг свинцово-цинковых рудных тел, изучались нами на трех месторождениях Средней Азии.

Два из них имеют рудные тела, приуроченные к крутопадающим дизъюнктивным нарушениям, а третье — к пологозалегающим структурам.

ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ВОКРУГ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ ТЕЛ

Краткое геологическое описание месторождений

По данным В. И. Титова (1961), рудные тела одного из месторождений залегают в скарнированных известняках, близ контакта с гранодиоритами. Приурочены они к местам пересечения и причленения различно ориентированных дизъюнктивных нарушений. По падению и простиранию они имеют размеры, не превышающие первые десятки метров. Мощность рудных тел составляет не более 2—3 м; падение крутое, на север (80—85°); залегают на глубине около 80 м и на дневную поверхность не выходят.

Рудные тела другого месторождения располагаются в аналогичных геологических условиях. Приурочены они к широтным дизъюнктивным нарушениям, оперяющим более крупные нарушения северо-западного простирания.

Размеры рудных тел более значительные, чем на первом месторождении. По простиранию они прослеживаются до 100 м, по падению до 100—130 м. Мощность их составляет первые метры; падение крутое, на север. Рудные тела вскрыты эрозией и выходят на дневную поверхность.

Рудные тела обоих месторождений в центральной их части сложены, как правило, прожилково-вкрапленными рудами, в связи с чем границы рудных тел нечеткие.

Основными рудными минералами являются галенит и сфалерит. В значительном количестве встречаются также магнетит, пирит и халькопирит. Кроме них, установлены микроскопические выделения аргента, галеновисмутита и арсенипирита.

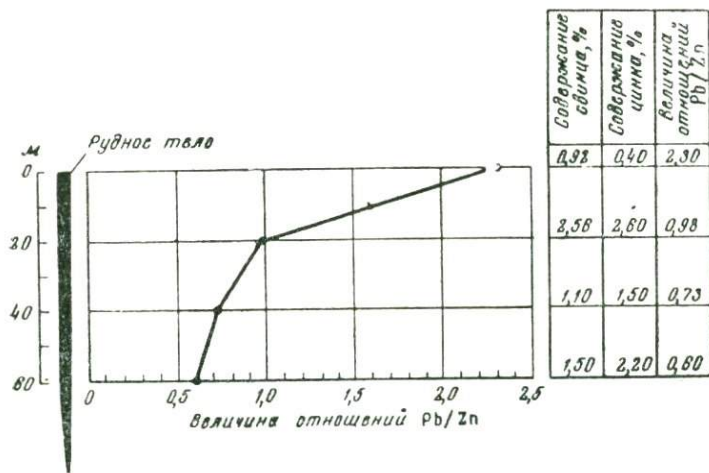


Рис. 2. График изменения с глубиной отношений свинца и цинка в рудном теле

В ряде рудных тел этих месторождений, как показывают количественные подсчеты минералов в шлифах, намечается увеличение с глубиной относительного количества сфалерита и уменьшение галенита. Эти данные хорошо согласуются с результатами бороздового опробования рудных тел, показывающими закономерное уменьшение с глубиной величины отношения среднего содержания свинца к среднему содержанию цинка (рис. 2).

Исследователями, занимавшимися изучением группы полиметаллических месторождений этого района, выделяются ранние безрудные скарны и рудные скарны, сопровождающие свинцово-цинковое оруденение (Титов, 1961).

В. И. Титов описывает случаи замещения ранних магнизиальных (основной скарновой минерал — флогопит) скарнов известковыми (андрадит-геденбергитового состава). Галенит, сфалерит и халькопирит, выделившиеся позже скарновых минералов, парагенны и метасоматически замещают реликты известняка (как правило, мраморизованного), а в скарновых минералах выполняют трещины.

Зона окисления на изученных месторождениях развита слабо. В подземных выработках окисленные минералы в заметных количествах обнаруживаются лишь в зонах относительно крупных тектонических нарушений. В монолитных породах даже на поверхности уступа навливаются рудные минералы, практически не затронутые процессами гипергенных изменений.



Описание ореолов рассеяния

Эндогенные ореолы рассеяния элементов изучались вокруг скрытых и выходящих на поверхность рудных тел. В последнем случае ореолы рассеяния были прослежены ниже рудных тел примерно на 100 м. По условиям залегания, формам, размерам и вещественному составу эти две группы рудных тел не отличаются друг от друга, поэтому целесообразно ореолы рассеяния элементов, связанных с ними, описывать совместно.

Результаты геохимического опробования показывают, что в рудных телах, кроме свинца и цинка, в повышенных по сравнению с вмещающими породами количествах содержатся следующие элементы: мышьяк, кадмий, медь, серебро, сурьма, висмут (элементы перечислены по порядку убывания их концентраций в рудном теле).

Содержания же урана, марганца, титана, ртути, кобальта, никеля, циркония, бериллия, хрома, ванадия и бария как в рудных телах, так и во вмещающих породах являются весьма близкими и их следует принять за величины геохимического фона этих элементов. Это значит, что заметного привноса этих элементов рудообразующими растворами не происходило.

Содержание свинца, цинка, серебра, мышьяка, меди и кадмия по мере удаления от рудных тел закономерно уменьшается, и по результатам опробования коренных пород вокруг рудных тел устанавливаются ореолы рассеяния этих элементов, связанные с конкретными рудными телами.

Ореолы рассеяния цинка, свинца и мышьяка по вертикали распространяются на значительные расстояния. Их протяженность над скрытыми рудными телами более 80 м. Полную вертикальную протяженность ореолов рассеяния этих элементов не удается определить, так как до поверхности они не выклиниваются, и на поверхности над скрытыми рудными телами устанавливаются все еще высокие содержания этих элементов (рис. 3). Ниже рудных тел существующие горные выработки и скважины фактически не выходят за пределы ореолов рассеяния не только цинка, свинца и мышьяка, но и остальных элементов, образующих ореолы рассеяния: меди, серебра, кадмия (рис. 4). Это обстоятельство позволяет считать, что в действительности вертикальная протяженность ореолов рассеяния этих элементов больше, и существующие скважины и горные выработки не позволяют выявить ее полностью.

Ореолы рассеяния перечисленных выше элементов имеют весьма сложную форму как в плане, так и в разрезе. Они в общих чертах повторяют формы рудных тел, вокруг которых развиваются.

На рис. 5 и 6 видно, что ореолы рассеяния относительно вертикально залегающих рудных тел развиваются примерно симметрично. В случае, когда рудное тело является наклонным (угол падения 70°), ореолы рассеяния несколько шире и интенсивнее развиваются со стороны их висячего бока, обуславливая некоторую асимметричность в строении (см. рис. 3 и 4).

Характерной особенностью ореолов рассеяния всех перечисленных выше элементов является их вытянутость по восстанию и падению рудных тел, обуславливающая значительную вертикальную протяженность их, в несколько раз превышающую протяженность самих рудных тел.

В плане ореолы рассеяния по форме напоминают эллипс, резко вытянутый по направлению простираения самих рудных тел.

Следует отметить, что ореолы рассеяния перечисленных элементов являются сплошными; на это указывает практическое отсутствие

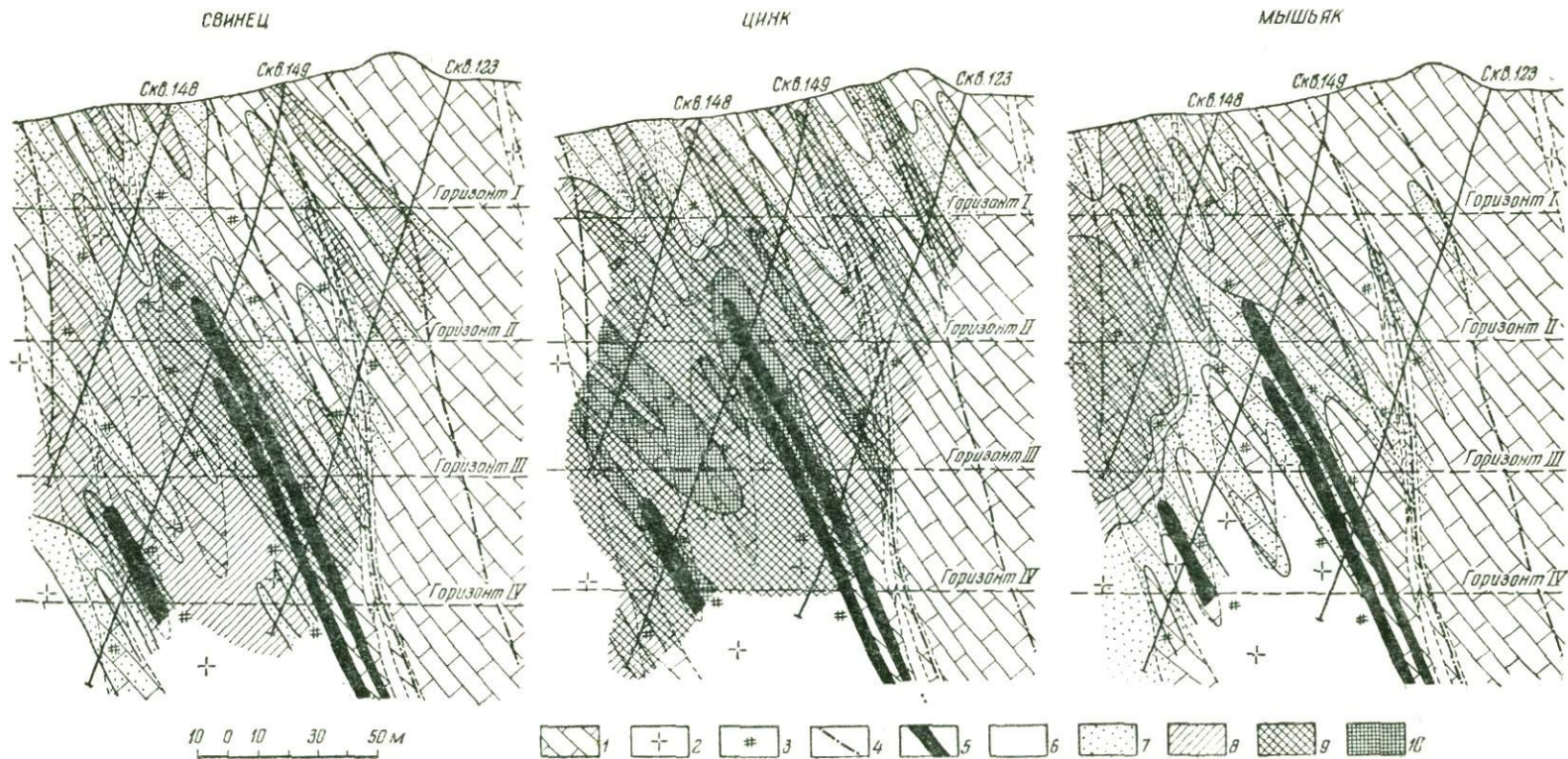


Рис. 3. Ореолы рассеяния свинца, цинка и мышьяка. Геологический разрез по В. И. Петрову

1 — известняки; 2 — гранодиориты; 3 — скарнированные породы; 4 — тектонические нарушения; 5 — рудные тела; 6—10 — содержание элементов (%): менее 0,01 (6) от 0,01 до 0,03 (7) от 0,03 до 0,3 (8) от 0,3 до 1,0 (9), более 1,0 (10)

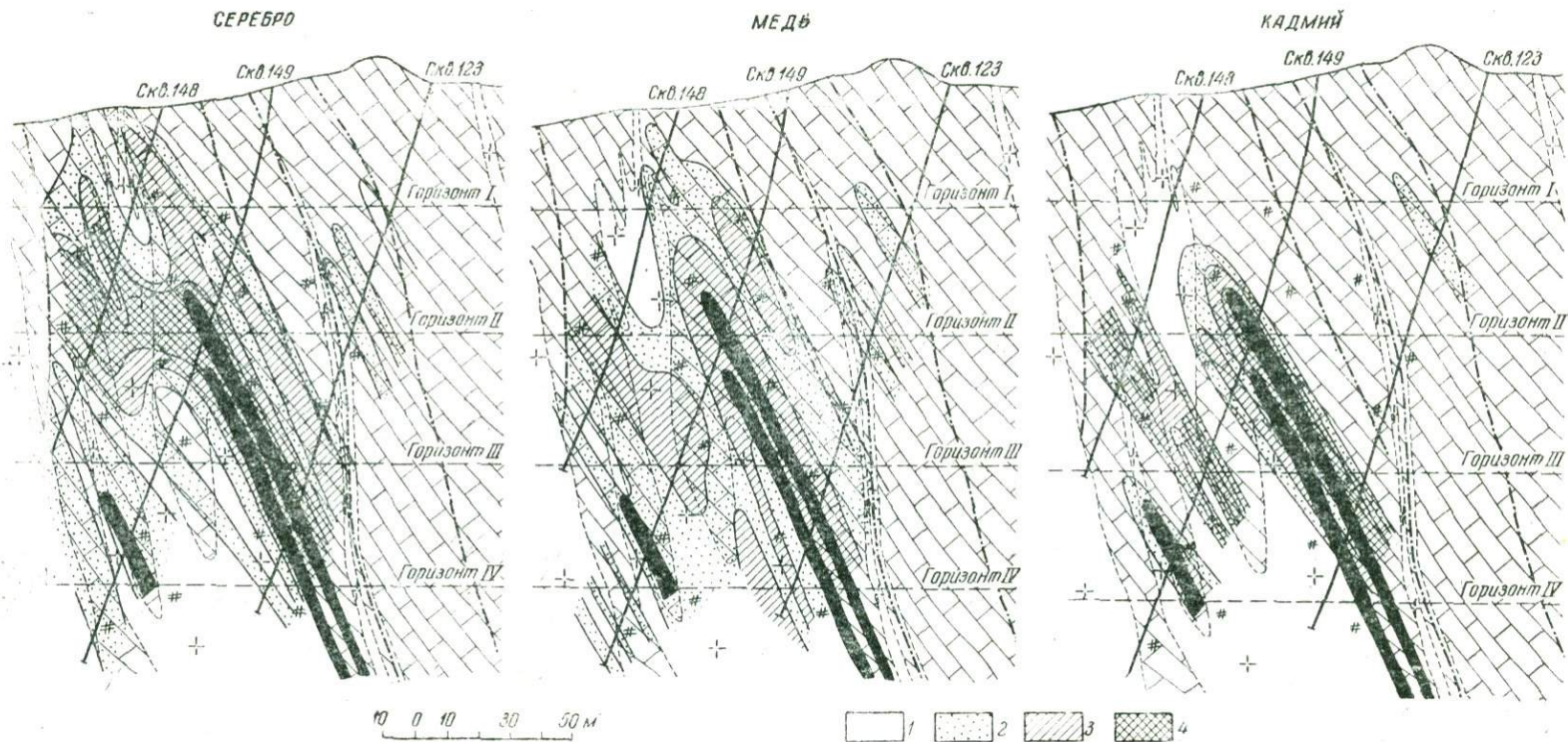


Рис. 4. Ореолы рассеяния серебра, меди и кадмия. Геологический разрез по В. И. Петрову.

1—4 — содержание элементов (%): серебра — менее 0,0001 (1), от 0,0001 до 0,0003 (2), от 0,0003 до 0,003 (3), от 0,003 до 0,03 (4); меди — менее 0,003 (1), от 0,003 до 0,01 (2), от 0,01 до 0,03 (3); кадмия — менее 0,01 (1), от 0,01 до 0,03 (2), от 0,03 до 0,3 (3), от 0,3 до 1,0 (4); остальные обозначения см. на рис. 3

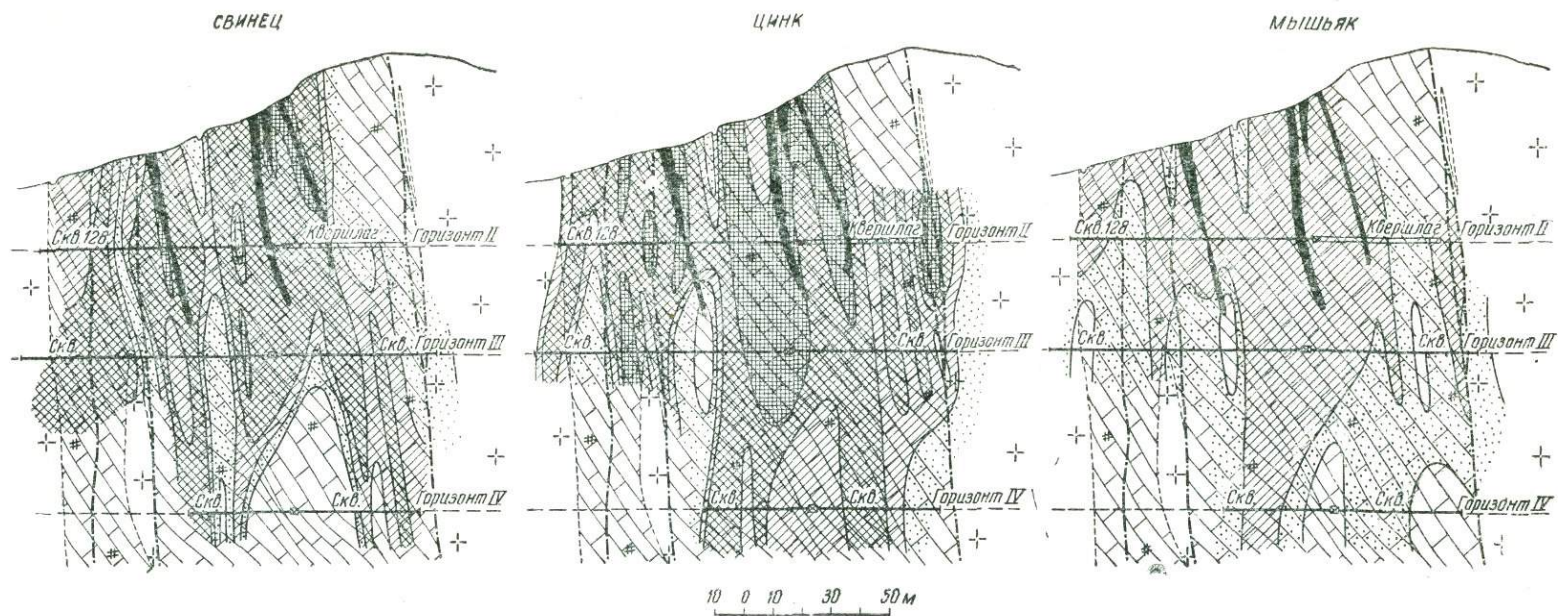


Рис. 5. Ореолы рассеяния свинца, цинка и мышьяка. Геологический разрез по В. М. Турлычкину. Условные обозначения см. на рис. 3

СЕРЕБРО

МЕДЬ

КАДМИЙ

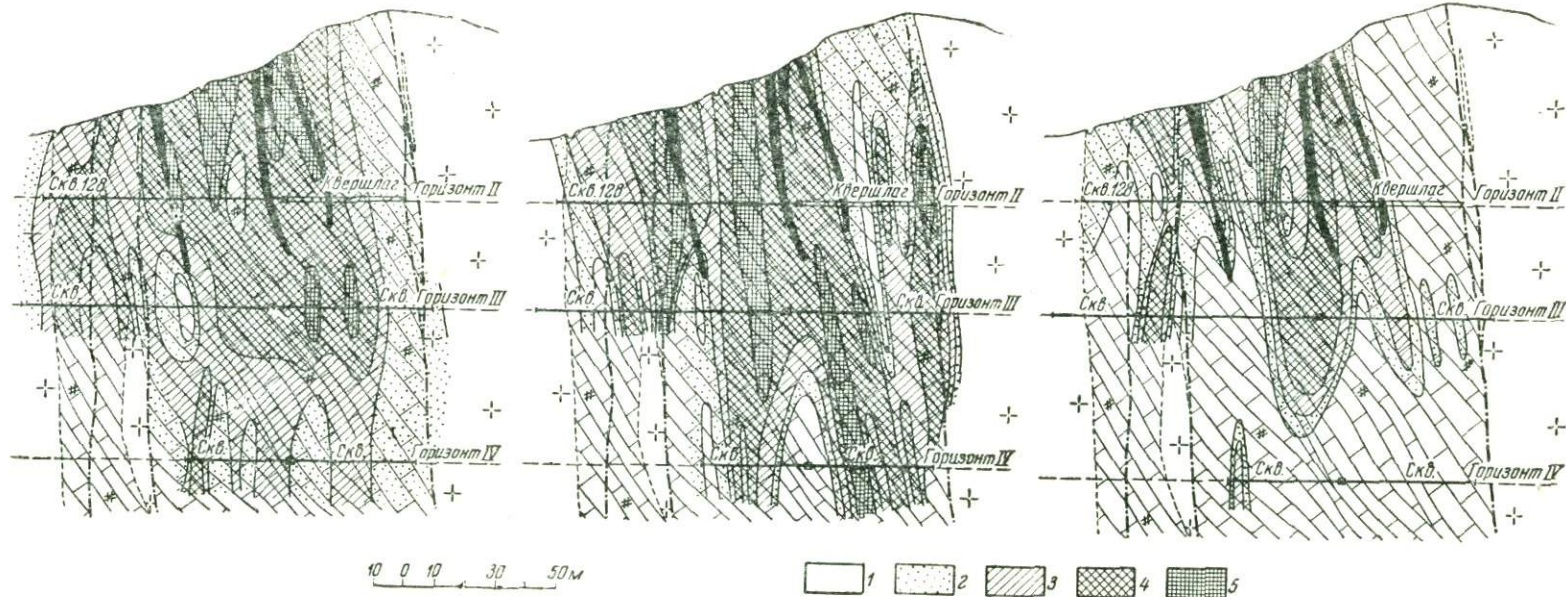


Рис. 6. Ореолы рассеяния серебра, меди и кадмия. Геологический разрез по В. М. Турлычкину.
 1-5 — содержание элементов (%): серебра — менее 0,0001 (1), от 0,0001 до 0,0003 (2), от 0,0003 до 0,003 (3), от 0,003 до 0,01 (4), от 0,01 до 0,3 (5); кадмия — менее 0,01 (1), от 0,01 до 0,03 (2), от 0,03 до 0,3 (3), от 0,3 до 1,0 (4), более 1,0 (5); остальные обозначения см. на рис. 3

в пределах контуров ореолов рассеяния проб с фоновым содержанием элементов.

Ореолы рассеяния элементов вокруг выходящих на поверхность рудных тел (см. рис. 5 и 6) заметно шире и интенсивнее, чем вокруг скрытых рудных тел. Это, по-видимому, вызвано тем, что в первом случае имеются три самостоятельных сближенных в пространстве рудных тела и вокруг них фактически выявлены суммарные ореолы рассеяния, высокие концентрации элементов в которых являются результатом наложения ореолов рассеяния, связанных с каждым из этих рудных тел.

Ниже приводится краткое описание ореолов рассеяния отдельных химических элементов, развивающихся вокруг рудных тел изученных месторождений (см. рис. 3 и 4).

Цинк. Цинк образует вокруг рудных тел наиболее выдержанный, широкий и интенсивный ореол рассеяния. Ширина ореола вокруг отдельных рудных тел составляет 60—70 м при мощности самих рудных тел в первые метры. Выше рудных тел ореол рассеяния цинка прослеживается на расстояние более 80 м и ниже рудных тел — более 100 м.

Выше указывалось, что применяемый спектральный анализ обладает достаточной чувствительностью на цинк (около 2 кларков). Это позволяет считать, что размеры ореолов рассеяния цинка, показанные на рисунках, соответствуют размерам истинных ореолов рассеяния этого элемента.

Как следует из рис. 3, поля с максимальной концентрацией цинка, как правило, совпадают с рудными телами (рудные тела околтурены по содержанию главного ценного компонента—свинца) и в ряде случаев располагаются за их пределами. Они отчетливо тяготеют к зонам дизъюнктивных нарушений и фактически от промышленных рудных тел отличаются только забалансовым содержанием цинка.

Неравномерность распределения цинка, как и других элементов, в ореоле рассеяния возрастает по мере увеличения концентрации. Коэффициент вариации содержания цинка в ореолах рассеяния, вычисленный по металлометрическим пробам разреза через скрытое рудное тело, равняется 140%, что свидетельствует о весьма неравномерном распределении цинка в ореолах рассеяния.

Свинец. Из выявленных вокруг рудных тел ореолов ореол рассеяния свинца является вторым по размерам и интенсивности. Высокая чувствительность анализа на свинец позволяет определить истинные размеры ореола рассеяния свинца. Ширина его составляет 50—60 м (см. рис. 3).

Вертикальная протяженность ореола рассеяния свинца, как и цинка, прослежена не полностью. На рис. 3 и 5 видно, что выше рудных тел ореол рассеяния свинца прослеживается на расстояние более 80 м и ниже их — более 100 м.

Общие контуры ореолов рассеяния свинца в пространстве совпадают с контурами ореолов рассеяния цинка, тогда как поля максимальных концентраций совпадают не всегда. В ореолах рассеяния свинец, как и цинк, распределен неравномерно. Коэффициент вариации, подсчитанный по тем же пробам разреза, составляет 120%. Высокая чувствительность анализа на свинец позволила для сравнения вычислить коэффициент вариации фонового содержания свинца во вмещающих породах. Он оказался равным 60%, что указывает на более равномерное распределение фонового содержания свинца по сравнению с его распределением в ореолах рассеяния.

Мышьяк. Мышьяк образует широкий и протяженный ореол рассеяния вокруг рудных тел. Нужно иметь в виду, что чувствительность анализа на мышьяк недостаточна (более 50 кларков), и истинные раз-

меры его ореолов рассеяния превышают (возможно намного) размеры ореолов, приведенные на рис. 3 и 5.

На месторождении со скрытыми рудными телами поля максимальных концентраций мышьяка не совпадают с рудными телами, а располагаются на 50—60 м выше их, образуя над ними своеобразную «шапку» (см. рис. 3). В пределах этой шапки содержание мышьяка в несколько раз выше, чем в рудных телах. Вертикальная протяженность ореолов рассеяния мышьяка и ореолов рассеяния цинка и свинца одинакова.

Ореол рассеяния мышьяка вокруг рудных тел, выходящих на поверхность, значительно интенсивнее, чем на месторождении со скрытыми рудными телами. Это обусловлено, по всей вероятности, более высоким содержанием мышьяка в рудных телах первого месторождения, а также наличием на этом месторождении группы сближенных рудных тел, которые по размерам крупнее тел второго месторождения.

Распределение мышьяка в пределах ореолов рассеяния весьма неравномерное. Коэффициент вариации составляет 200% и значительно превышает величины коэффициентов вариации цинка и свинца; это, по-видимому, вызвано не только большей неравномерностью распределения мышьяка, но и тем, что коэффициент вариации подсчитан по полям высоких концентраций мышьяка (более 50 кларков).

Серебро. Ореол рассеяния серебра (см. рис. 4) по размерам и концентрации заметно уступает ореолам рассеяния цинка, свинца и мышьяка. Величина чувствительности анализа на серебро всего лишь в несколько раз превышает его кларковое содержание, что позволяет считать, что размеры ореолов рассеяния серебра будут отличаться от истинных незначительно.

Ореол рассеяния серебра практически выклинивается выше скрытых рудных тел на 80 м (см. рис. 4), тогда как на месторождении другого типа на 100 м ниже группы рудных тел он все еще является достаточно интенсивным (см. рис. 6). Его ширина вокруг отдельных рудных тел не превышает 40—50 м.

Ореол рассеяния серебра пространственно совпадает с полями высоких концентраций ореола рассеяния свинца. Распределение серебра в ореоле рассеяния также неравномерное (коэффициент вариации 200%).

Медь. Высокая чувствительность спектрального анализа на медь позволяет выявить истинные размеры ее ореола рассеяния. Выявленные ореолы по размерам и интенсивности уступают ореолам рассеяния цинка, свинца и серебра. Ширина ореола рассеяния меди вокруг конкретных рудных тел не превышает 30—40 м (см. рис. 4). Вокруг группы рудных тел она значительно больше (см. рис. 6). Над рудными телами в 60—70 м по их восстанию ореол рассеяния меди практически отсутствует, ниже сближенных рудных тел на 100 м ореол рассеяния меди все еще остается интенсивным.

Кадмий. Из рис. 4 видно, что вокруг отдельных рудных тел контурены незначительные по размерам ореолы рассеяния кадмия. Ширина его не превышает 20 м. Выше рудных тел ореол прослеживается не более, чем на 30—40 м; ниже группы рудных тел на 100 м ореол рассеяния кадмия практически выклинивается (см. рис. 6). Однако следует учесть, что чувствительность анализа на кадмий крайне недостаточна (более 700 кларков), и истинные размеры ореолов рассеяния кадмия, без сомнения, будут намного выше; по-видимому, ореол рассеяния кадмия является широким и протяженным, тогда как на рисунках приведены лишь поля максимальных концентраций. Как следует из рис. 3 и 4, эти поля всегда совпадают с полями максимальных концентраций ореола рассеяния цинка, что свидетельствует о тесной корреляционной связи между этими элементами.

Распределение кадмия в ореоле рассеяния неравномерное; его коэффициент вариации 260%. Этот коэффициент определен по результатам анализа проб с содержанием кадмия, превышающим его кларковое содержание более чем в 700 раз. По всей вероятности, коэффициент вариации кадмия, вычисленный по пробам в границах истинного ореола рассеяния (имеется в виду ореол, оконтуренный с достаточной чувствительностью анализа), будет меньшим по величине, так как с повышением концентраций элементов значительно возрастает неравномерность распределения (коэффициент вариации).

Отчетливые ореолы рассеяния сурьмы и висмута оконтурить не удастся, поскольку за пределами рудных тел пробы со значимыми содержаниями этих элементов встречаются редко и распределяются весьма спорадически, если не считать того факта, что выше рудных тел количество проб со значительными содержаниями сурьмы является максимальным по сравнению с другими уровнями.

Не вызывает сомнения, что сурьма и висмут вокруг рудных тел образуют ореолы рассеяния, однако из-за крайне недостаточной чувствительности применяемого метода анализа оконтурить их не удастся (величина чувствительности на сурьму более 300, а на висмут — более 100 кларковых содержаний).

Отмеченный выше факт установления максимального количества значимых содержаний сурьмы над скрытым рудным телом позволяет предположить, что ореол рассеяния сурьмы интенсивнее всего будет развиваться выше рудных тел.

Распределение химических элементов в ореолах рассеяния

Одной из наиболее характерных особенностей распределения химических элементов в ореолах рассеяния, образующихся вокруг крутопадающих рудных тел, является убывание их концентраций в стороны от рудных тел к краевым частям ореолов рассеяния. С целью изучения особенностей проявления этой закономерности нами строились графики изменения содержаний элементов по мере удаления от рудных тел по результатам опробования кернa скв. 123, вскрывающей рудное тело в его средней части (рис. 7). Геологический разрез по этой скважине приведен на рис. 3.

На этих графиках приведены данные распределения свинца, цинка и меди, ореолы рассеяния которых являются наиболее широкими. Их размеры являются истинными благодаря достаточной чувствительности анализа на эти элементы.

При построении графиков по оси абсцисс в линейном масштабе откладывались интервалы опробования, а по оси ординат в логарифмическом масштабе — содержания элементов в пробах, определенные методом полуколичественного спектрального анализа.

Графики распределения элементов, построенные по результатам анализа проб, отобранных через 5 м, представляют собой ломаные линии с резкими пиками и провалами содержаний (см. рис. 7). Такой характер линий указывает на значительную неравномерность в распределении концентраций химических элементов в ореолах рассеяния.

Наряду с неравномерностью распределения элементов на указанных графиках видна четко выраженная тенденция убывания их содержаний по направлению от рудного тела к краевым частям ореолов рассеяния.

Очевидно, что из-за неравномерности распределения по этим графикам трудно сопоставить особенности убывания содержаний отдельных элементов. Поэтому на рис. 7 приводятся также графики распределения содержаний этих элементов, построенные не по отдельным пробам, а по группе их.

Все пробы, начиная от рудного интервала, по четыре объединялись в группы и по ним определялись среднеарифметические содержания химических элементов. Эти средние содержания также откладывались по оси ординат в логарифмическом масштабе. Построенные таким способом графики уже существенным образом отличаются от предыдущих и представляют собой практически прямые линии, образующие с осью абсцисс острые углы.

Прямолинейный характер графиков указывает на логарифмическую закономерность убывания содержаний химических элементов

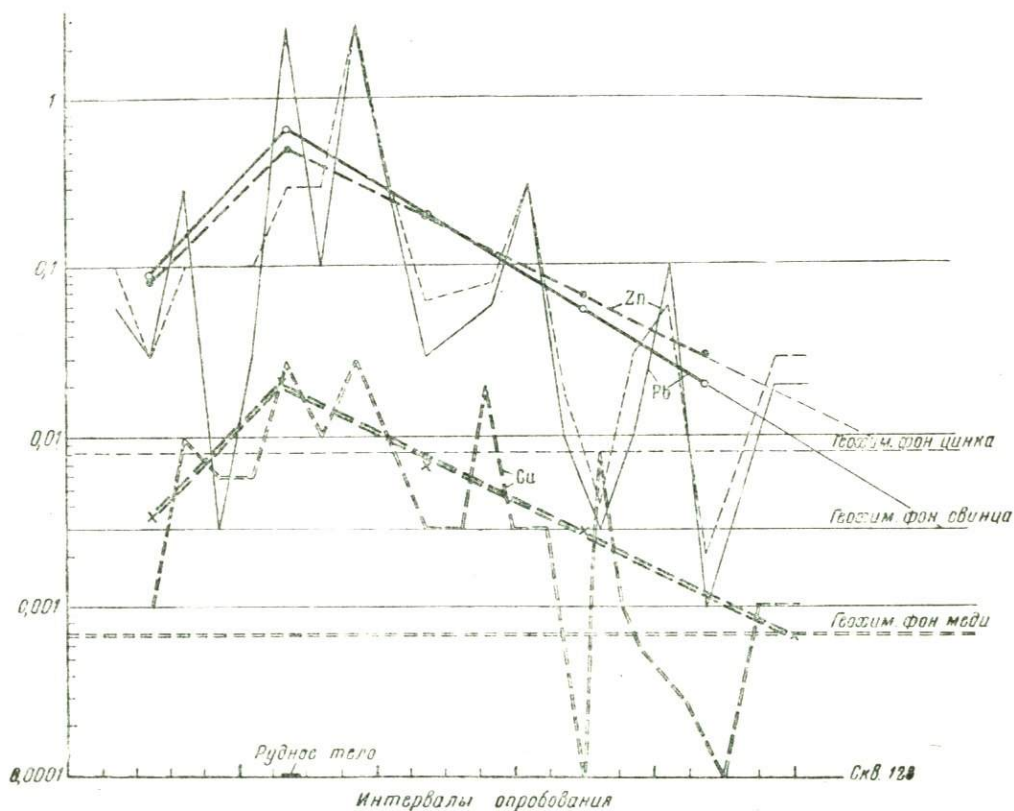


Рис. 7. Графики распределения свинца, цинка и меди вокруг скрытых рудных тел. На оси абсцисс — интервалы опробования и объединенных проб

в ореолах рассеяния по мере удаления от рудного тела в стороны. Такое распределение содержаний химических элементов позволяет определить вероятную ширину ореола рассеяния того или иного химического элемента в конкретном разрезе. Для этого следует линию распределения соответствующего элемента продолжить до пересечения ее с линией, параллельной оси абсцисс и соответствующей фоновому содержанию данного элемента. На рис. 7 таким способом определена ширина ореолов рассеяния цинка, свинца и меди.

График, построенный для определения вероятной ширины ореола рассеяния соответствующего химического элемента, показывает, что ширина ореола прямо пропорциональна логарифму концентрации химического элемента в рудном теле и обратно пропорциональна тангенсу угла, образованного линией распределения элементов в ореоле рассеяния с осью абсцисс (градиенту концентрации), и логарифму фонового содержания данного элемента во вмещающих рудное тело породах.

Для проверки закономерности, выявленной на основании спектрального анализа проб, в тех же пробах содержание основного компонента руд (свинца) определялось также химическим путем.

На рис. 8 приведены графики распределения свинца, построенные по данным полуколичественного спектрального и количественного химического анализов проб. Эти графики почти не отличаются между собой, что подтверждает правильность сделанных выводов о логарифмическом характере убывания концентраций элементов по мере удаления от рудных тел.

Как видно из рис. 7, углы, образованные линиями распределения химических элементов в поле рассеяния с осью абсцисс, для различных элементов различны по величине. Очевидно, что условия образования

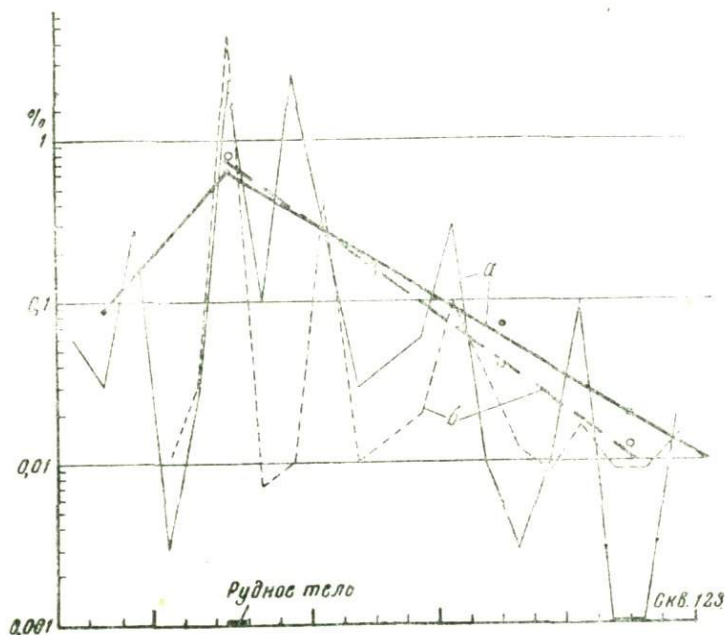


Рис. 8. Графики распределения свинца вокруг скрытых рудных тел по данным спектрального (а) и химического количественного (б) анализов

ореолов рассеяния рассматриваемых нами элементов были одинаковыми; следовательно, указанные различия величин углов можно объяснить различными свойствами самих элементов, определяющих способность проникновения их во вмещающие рудные тела породы.

Так, судя по прямым распределения (см. рис. 7), цинк и медь обладают примерно одинаковой проникающей способностью (их линии распределения параллельны), тогда как свинец — меньшей.

На рис. 9 приведены прямые распределения тех же элементов, построенные описанным выше способом по результатам опробования горной выработки, вскрывающей нижние части рудного тела. Эти прямые (по сравнению с прямыми распределения, изображенными на рис. 7) с осью абсцисс образуют значительно большие по величине углы, т. е. они круче; это позволяет считать, что на различных участках ореолов рассеяния по отношению к рудным телам проникновение элементов во вмещающие рудные тела породы происходит по-разному. Примечательно, что и в этом случае наиболее крутой является линия распределения свинца, а линии цинка и меди параллельны и являются более пологими, что подтверждает высказанное выше предположение о меньшей проникающей способности свинца по сравнению с цинком

и медью, обладающими примерно одинаковой проникающей способностью.

Однако следует иметь в виду, что разница в углах наклона линий распределения различных элементов в общем невелика и ее можно подметить лишь в сравнительно простых случаях, в частности в случае обособленных рудных тел, залегающих в слабонарушенных породах. Гораздо чаще мы имеем дело с группой сближенных в пространстве рудных тел или же с отдельными рудными телами, залегающими в сложной тектонической обстановке. В этих случаях линии распределения элементов, как правило, в результате наложения рассеяния, связанного с рудным телом и другими проявлениями рудной минерализа-

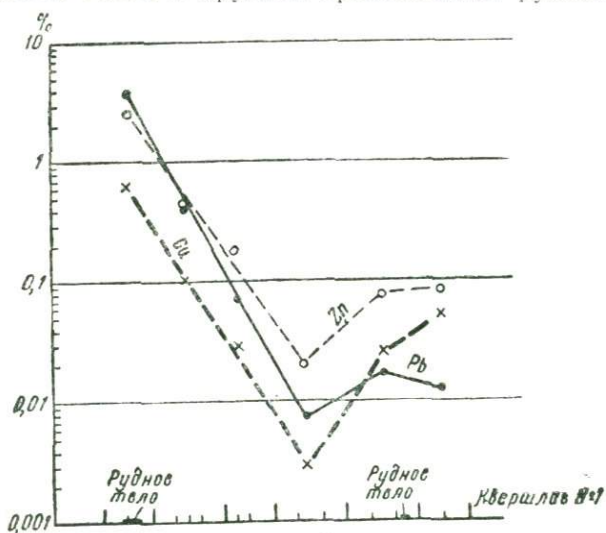


Рис. 9. Графики распределения свинца, цинка и меди вокруг рудных тел, выходящих на поверхность.

ции, нарушаются из-за появления новых максимумов содержаний элементов и не прослеживаются до пересечения с линиями фоновых содержаний этих элементов во вмещающих рудные тела породах.

На рис. 9 изображен именно такой случай, когда прямые распределения свинца, цинка и меди нарушаются и появляются новые максимумы, обусловленные другим мелким рудным телом.

Для выяснения характера изменения концентраций химических элементов в пределах их ореолов рассеяния по вертикали нами вычислялись средние содержания этих элементов на различных уровнях вертикального разреза ореолов рассеяния. Полученные данные были сведены в графики (рис. 10). В верхней части рис. 10 приведен схематический разрез через скрытое рудное тело, а в нижней части — разрез через выходящие на поверхность рудные тела. По этим разрезам построены графики изменения средних содержаний элементов на различных уровнях разреза ореолов рассеяния.

В разрезе через скрытые рудные тела средние содержания элементов определялись по результатам опробования керна трех скважин, вскрывающих ореолы рассеяния на разных горизонтах и по профилю на поверхности (геологический разрез через эти рудные тела приведен на рис. 3). Для определения средних содержаний элементов на каждом из горизонтов было использовано по 30—40 металлометрических проб. В случае выходящих на поверхность рудных тел использовались пробы, взятые на поверхности и на четырех горизонтах. Средние содержания элементов в ореолах рассеяния на каждом из горизонтов опре-

делялись по 100—150 пробам. Вычисленные средние содержания откладывались по оси абсцисс на соответствующих горизонтах, и точки соединялись линиями. При этом откладывались они дважды — в линейном (см. рис. 10, правая часть) и логарифмическом масштабах (левая часть).

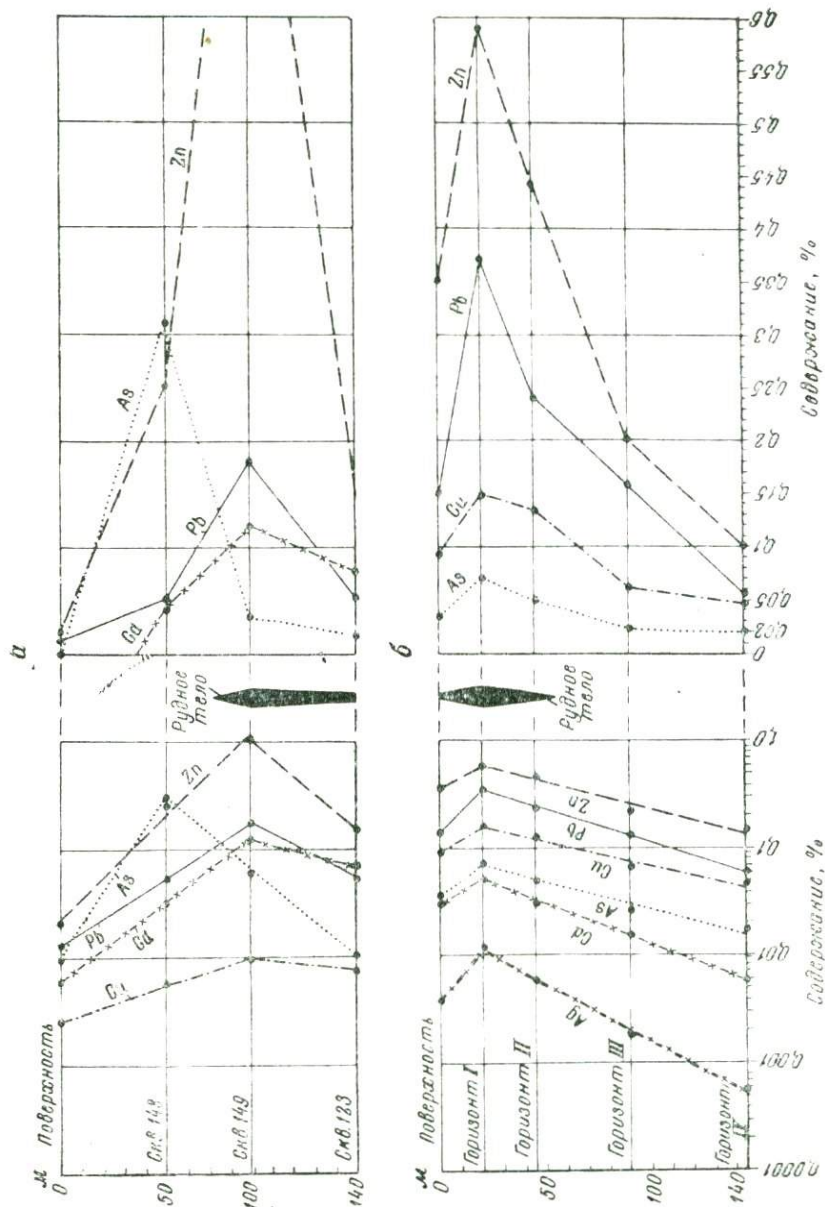


Рис. 10. Графики изменения средних содержаний элементов в ореолах рассеяния вокруг скрытых (а) и выходящих на поверхность (б) рудных тел

Из рис. 10 видно, что графики изменения средних содержаний элементов, построенные в линейном масштабе, представляют собой ломаные линии; графики, построенные в логарифмическом масштабе, — прямые линии. Это свидетельствует о том, что изменение средних содержаний элементов в ореолах рассеяния происходит по логарифмическому закону.

Из графиков видно, что в ореолах рассеяния существует уровень максимальных концентраций химических элементов, по мере удаления от которых вверх и вниз концентрации элементов убывают по логариф-

мическому закону. Таким уровнем максимальных концентраций, в частности, является уровень скв. 149 в разрезе через скрытые рудные тела и I горизонт в разрезе через выходящие на поверхность рудные тела, т. е. уровни средних частей рудных тел, являющиеся наиболее продуктивными. Исключением является мышьяк, максимальные концентрации которого в ореоле рассеяния вокруг скрытых рудных тел устанавливаются не на уровне рудных тел, как это имеет место для остальных элементов, а выше их (см. рис. 10, скв. 148).

Полученные прямые изменения средних содержаний элементов, за исключением мышьяка, с вертикалью образуют острые и примерно одинаковые по величине углы, величины которых прямо пропорциональны градиентам концентраций соответствующих элементов.

При сравнении графиков верхней и нижней частей рис. 10 выясняется, что на верхнем разрезе прямые с вертикалью образуют большие углы, чем на нижнем; это позволяет считать, что градиенты концентраций этих элементов над рудными телами больше, чем под ними. Кроме того, в случае скрытых рудных тел прямая убывания содержания цинка с вертикалью образуют угол, заметно больший, чем остальные элементы, в частности свинец и медь. Это значит, что из перечисленных элементов градиент убывания содержания цинка по мере удаления от рудных тел вверх по восстанию является максимальным. Однако следует указать, что эти отличия в градиентах все же незначительны по величине.

Установленная закономерность логарифмического характера изменений содержаний элементов в ореолах рассеяния, как нам кажется, позволяет по графикам изменения содержаний элементов определять вероятную протяженность ореолов рассеяния элементов как выше, так и ниже рудных тел. Для этого следует прямую изменения содержания данного элемента продолжить до пересечения ее с вертикальной линией фонового содержания этого элемента. Отсеченный таким образом отрезок на вертикальной линии фонового содержания в масштабе будет соответствовать вероятной протяженности ореола выше рудных тел. Таким способом для приведенных на рис. 10 скрытых рудных тел можно установить, что ореолы рассеяния основных компонентов рудных тел цинка и свинца над рудными телами прослеживаются на расстоянии более 130 (цинк) и 150 м (свинец).

Таблица 4

Таблица сопоставления средних содержаний элементов в рудном теле и ореолах рассеяния месторождения с группой рудных тел, выходящих на поверхность

Химические элементы	Среднее содержание, %		Отношение содержания элемента в рудном теле к его содержанию в ореоле	Примечание
	Рудное тело	Ореол рассеяния		
Цинк	2,2	0,59	3,8	Таблица составлена по результатам опробования I горизонта (см. рис. 5 и 6). Содержания элементов в рудном теле определены по анализам борозловых проб
Свинец	1,5	0,37	4,1	
Медь	0,38	0,12	3,2	
Кадмий	0,24	0,05	4,8	
Серебро	0,031	0,01	3,1	

Очевидно, что такие определения можно производить только по конкретным рудным телам, так как (что следует из характера графиков изменения концентраций) вертикальная протяженность ореолов

рассеяния элементов, как и их ширина, зависят, прежде всего, от концентрации данных элементов в ореолах рассеяния на уровне рудных тел — уровне максимальных концентраций (см. рис. 10), а также от фоновых содержаний этих элементов во вмещающих породах и от градиентов их содержаний в ореолах рассеяния. Кроме того, на величину градиентов содержаний влияют также химические и физико-механические свойства вмещающих пород.

Если учесть, что градиенты средних содержаний элементов друг от друга отличаются незначительно и соотношения средних содержаний элементов в ореолах рассеяния (на уровне рудных тел) и в рудных телах примерно одинаковы (табл. 4), то основными факторами, определяющими протяженность ореолов рассеяния, следует считать концентрации элементов в рудных телах и их фоновые содержания. При этом, конечно, имеется в виду, что геолого-структурные условия локализации рудных тел одинаковы.

Зональность ореолов рассеяния

Как уже указывалось, изменения концентраций различных элементов в ореолах рассеяния вокруг крутопадающих рудных тел происходят по-разному. Ореолы рассеяния таких элементов, как свинец, цинк, серебро, кадмий, медь, являются примерно симметричными относительно рудных тел, причем поля с максимальными концентрациями этих элементов, как правило, совпадают с самими рудными телами. Ореол рассеяния мышьяка отличается от ореолов рассеяния перечисленных элементов резкой асимметричностью, выраженной в том, что поля максимальных концентраций располагаются значительно выше рудных тел, образуя над ними своеобразные «шапки» (см. рис. 3). Так, если на уровне рудных тел и ниже среднее содержание мышьяка в ореоле рассеяния не превышает 0,04%, то над рудным телом, в 50—60 м от верхних его частей, оно превышает 0,3%, т. е. возрастает почти в 10 раз. Такие различия в распределении содержаний элементов в ореолах рассеяния обуславливают зональность в строении «общих» ореолов рассеяния, развивающихся вокруг крутопадающих рудных тел. Одним из параметров, характеризующих эту зональность, является величина отношения средних содержаний отдельных элементов. Для каждой пары элементов эта величина в разных частях ореолов рассеяния различна и закономерно меняется по мере удаления от рудных тел вверх и вниз. Однако для пар элементов, образующих примерно одинаковые, симметричные по строению и распределению концентраций ореолы рассеяния, характер изменения величин отношений средних содержаний будет также одинаков; для элементов, образующих отличные по размерам и особенно по распределению полей концентраций относительно рудных тел ореолы рассеяния, закономерное изменение этой величины позволяет выявить взаимосвязь ореолов различных элементов. На рис. 11 графически изображены изменения величин отношений среднего содержания мышьяка к средним содержаниям цинка, свинца и серебра, т. е. элементов, образующих наиболее широкие и протяженные ореолы рассеяния. Графики изменения величин этих отношений по вертикали являются резко асимметричными относительно рудного тела. Такой характер графиков вызван несравненно большими величинами этих отношений над рудными телами по сравнению с ореолами рассеяния, развитыми на уровне рудных тел и ниже. Так, величина отношения среднего содержания мышьяка к среднему содержанию свинца на уровне рудных тел и ниже не превышает 0,3, тогда как над рудными телами она превышает 6,2, т. е. более чем в 20 раз.

Величины отношений среднего содержания мышьяка к средним содержаниям цинка и серебра в ореолах рассеяния над рудными

теми также намного больше, чем ниже рудных тел и на их уровне. Такая закономерность позволяет по величинам этих соотношений отличить поля ореолов рассеяния элементов, развитых над слепыми рудными телами, от полей, которые развиваются ниже их.

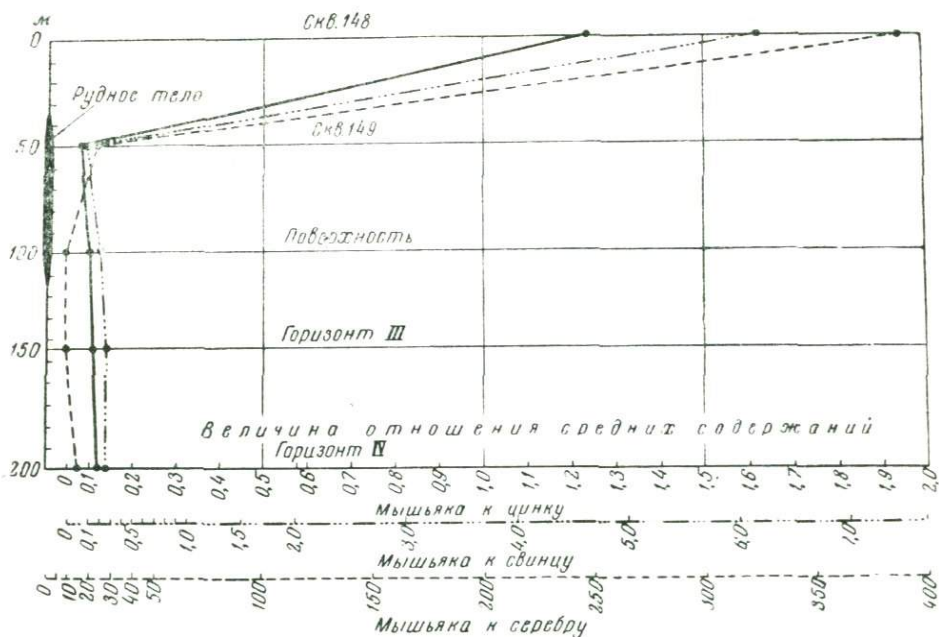


Рис. 11. Графики отношения средних содержаний элементов в ореолах рассеяния вокруг скрытых рудных тел

Кроме перечисленных выше пар элементов, величина отношения среднего содержания свинца к среднему содержанию цинка над рудными телами также заметно больше, чем ниже их, однако эта разница невелика и на фоне значительных колебаний концентраций этих элементов и величин их отношений в ореолах рассеяния, развитых вокруг различных рудных тел, ее не всегда удается выделить.

ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ВОКРУГ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ ТЕЛ

Краткое геологическое описание месторождения

Рудные тела изученного месторождения размещены в пределах толщи верхнепалеозойских известково-аркозовых конгломератов, залегающих на размытой поверхности андезито-дацитовых порфиритов нижнекарбонového возраста.

Падение рудовмещающей толщи северо-западное (10—15°). Мощность ее достигает 250 м, по направлению к юго-востоку она уменьшается до 30—50 м. Конгломераты состоят в основном из окатанных галек известняка и изверженных пород размерами 1—5 см, иногда 10—15 см. Цементом являются известково-аркозовый и туффитовый материал. В толще конгломератов встречаются прослои, почти нацело сложенные гальками известняка. Такие прослои по вертикали чередуются с прослоями, содержащими в основном гальки изверженных пород. Это придает толще слоистый характер. На северо-восточном фланге месторождения толща конгломератов перекрывается кварцевыми диорит-порфирами. Конгломераты, перекрывающие и подстилающие их эффузивы прорваны дайками гранит-порфиров и диабазовых порфиритов северо-восточного направления. На месторождении развиты крутопадающие дизъюнктивные нарушения северо-западного прости-

рания, вдоль которых устанавливаются смещения отдельных блоков толщи конгломератов. Амплитуда вертикальных перемещений по этим нарушениям достигает 100 м. Рудные тела представляют собой полого-залегающие линзообразные залежи мощностью в первые метры.

Максимальные мощности рудных тел и концентрации свинца наблюдаются вблизи северо-западных нарушений, являющихся, по всей вероятности, рудоконтролирующими. Протяженность рудных тел по горизонтали колеблется от 20 до 100 м, а иногда и более.

Руды массивные и прожилково-вкрапленные. По вещественному составу они аналогичны рудам описанных выше месторождений с крутопадающими рудными телами. Основными компонентами руд являются галенит и сфалерит. В меньших количествах встречаются пирит и халькопирит.

Все известные на месторождении рудные тела залегают в скарированных конгломератах. Основными скарновыми минералами являются гранат и волластонит. Установленные в аншлифах случаи выполения трещин в скарновых минералах галенитом и сфалеритом позволяют считать скарнообразование предшествующим выделению рудных минералов. В пределах рудных залежей основные компоненты руд — галенит и сфалерит — распределены в виде вкрапленников, прожилков и гнезд, метасоматически замещающих цемент и известняковую гальку конгломератов.

Скопление свинцово-цинковых руд происходило, очевидно, в наиболее ослабленных зонах, на контактах отдельных прослоев конгломератов. Этим объясняется согласное с толщиной конгломератов залегание рудных тел и отмеченное выше закономерное увеличение мощности рудных тел вблизи тектонических нарушений.

В локализации оруденения не меньшую роль сыграл литологический фактор. Рудные минералы отлагались в толще конгломератов благодаря наличию в них карбонатных пород, поскольку замещению сульфидами, как показывает изучение аншлифов, подвергались в основном гальки известняка и известковый цемент. В то же время рудоносные гидротермальные растворы при прохождении сквозь неблагоприятную для рудоотложения толщу андезит-дацитовых порфиритов не способствовали скоплению сульфидов в них.

Зона окисления, как и на месторождениях с крутопадающими рудными телами, развита слабо и на глубину распространяется только по разрывным нарушениям.

Описание ореолов рассеяния

Поиски и разведка рудных тел на описываемом месторождении производятся исключительно вертикальными буровыми скважинами, и ореолы рассеяния элементов вокруг полого- или горизонтальнозалегающих рудных тел выявлены нами путем геохимического опробования керна этих скважин.

В пробах, отобранных из рудных тел, кроме свинца и цинка, в повышенных концентрациях обнаружались сурьма, мышьяк, кадмий, серебро, висмут, медь (элементы перечислены в порядке убывания их содержаний), т. е. те же элементы, что в крутопадающих рудных телах. Однако по их количественным соотношениям рудные тела данного месторождения отличаются от крутопадающих рудных тел, описанных выше, в частности, в них содержания сурьмы и серебра значительно выше, а кадмия и меди значительно меньше.

По результатам геохимического опробования керна скважин удалось выявить отчетливые ореолы рассеяния цинка, свинца, мышьяка, сурьмы и серебра.

Содержание меди в рудных телах лишь незначительно превышает ее фоновое содержание во вмещающих породах. В связи с этим оконтурить отчетливый ореол рассеяния меди невозможно, несмотря на высокую чувствительность спектрального анализа на медь.

Висмут и кадмий практически обнаруживаются только в рудных телах, и недостаточная чувствительность спектрального анализа на эти элементы не позволяет выявить их ореолы рассеяния.

Характерной особенностью ореолов рассеяния элементов, развивающихся вокруг пологозалегающих рудных тел месторождения, является в отличие от ореолов рассеяния крутопадающих тел их резкая вытянутость по горизонтали, намного превышающая в этом направлении протяженность самих рудных тел. Эти ореолы рассеяния повторяют формы рудных тел и отличаются от них большими размерами и меньшими концентрациями рудных элементов. Такими же резко вытянутыми в горизонтальной плоскости линзами являются и поля более высоких концентраций, располагающиеся в пределах общих контуров ореолов. В разрезе эти линзы, как и ореол в целом, представляют собой полосы, располагающиеся параллельно рудным телам.

Горизонтальная протяженность ореолов рассеяния перечисленных выше элементов точно не установлена; так, опробованные скважины, по которым в разрезах оконтуривались ореолы рассеяния, по существу не выходят за их пределы.

В случае достаточно мощных и протяженных рудных тел ореолы рассеяния элементов, развивающиеся вокруг них, практически охватывают всю продуктивную толщу конгломератов, а наиболее широкие из них — также приконтактные части подстилающих и перекрывающих эффузивов.

Как и на месторождениях с крутопадающими рудными телами, среди элементов, образующих ореолы рассеяния вокруг пологозалегающих рудных тел, по характеру распределения полей различных концентраций относительно рудных тел отчетливо выделяются две группы. К первой группе относятся элементы с полями максимальных концентраций, как правило, совпадающими с рудными телами. Такими элементами на этом месторождении являются свинец, цинк и серебро. Ко второй группе относятся мышьяк и сурьма; поля максимальных концентраций этих элементов располагаются за пределами рудных тел.

Цинк. Наиболее широким и протяженным является ореол рассеяния цинка (рис. 12 и 13). Его размеры по вертикали (ширина ореола) колеблются в значительных пределах и достигают 200 м вокруг группы рудных тел, расположенных друг над другом; большинство скважин в этих случаях полностью находится в пределах ореола.

При прослеживании изменения концентраций цинка по вертикали видно, что ниже рудных тел ореол рассеяния цинка является более интенсивным, чем выше их.

Свинец. Свинец образует широкий и протяженный ореол рассеяния. Как следует из рис. 12 и 13, по ширине он меньше ореола рассеяния цинка и вписывается в него. Однако эта закономерность в отдельных случаях нарушается. Так, приведенный на рис. 12 ореол рассеяния свинца по размерам мало отличается от ореола рассеяния цинка. Такие различия в размерах ореолов рассеяния отдельных рудных тел, по всей вероятности, вызваны колебаниями содержания свинца и цинка в рудных телах. Если в рудном теле, изображенном на рис. 13, содержание свинца и цинка примерно равно (свинец 1,55%, цинк 1,35%), то в рудном теле, вокруг которого ореолы цинка и свинца примерно равны, содержание свинца в несколько раз превышает содержание цинка (свинец 1,45%, цинк 0,4%). Этот факт указывает на то, что и в условиях этого месторождения аналогично месторождениям с крутопадающими рудными телами существует определенная

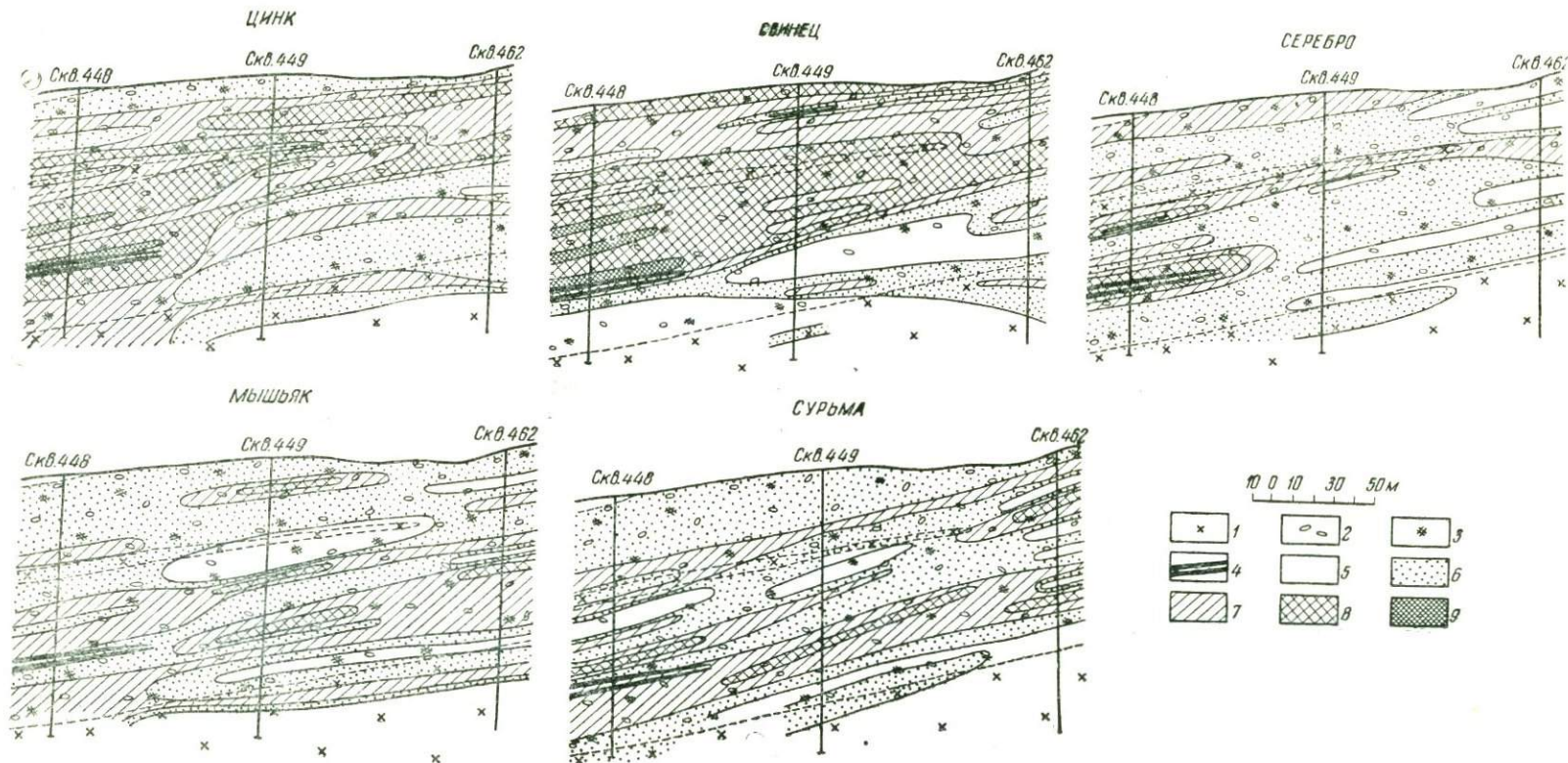


Рис. 12. Ореолы рассеяния пологозалегающих рудных тел. Геологический разрез по Е. П. Мешерякову

1 — дацитовые порфириты; 2 — конгломераты; 3 — скарнированные породы; 4 — рудные тела; 5—9 — содержание элементов (%): свинца, цинка, мышьяка, сурьмы — менее 0,01 (5), от 0,01 до 0,03 (6), от 0,03 до 0,3 (7), от 0,3 до 1,0 (8), более 1,0 (9); серебра — менее 0,0001 (5), от 0,0001 до 0,0003 (6), от 0,0003 до 0,003 (7)

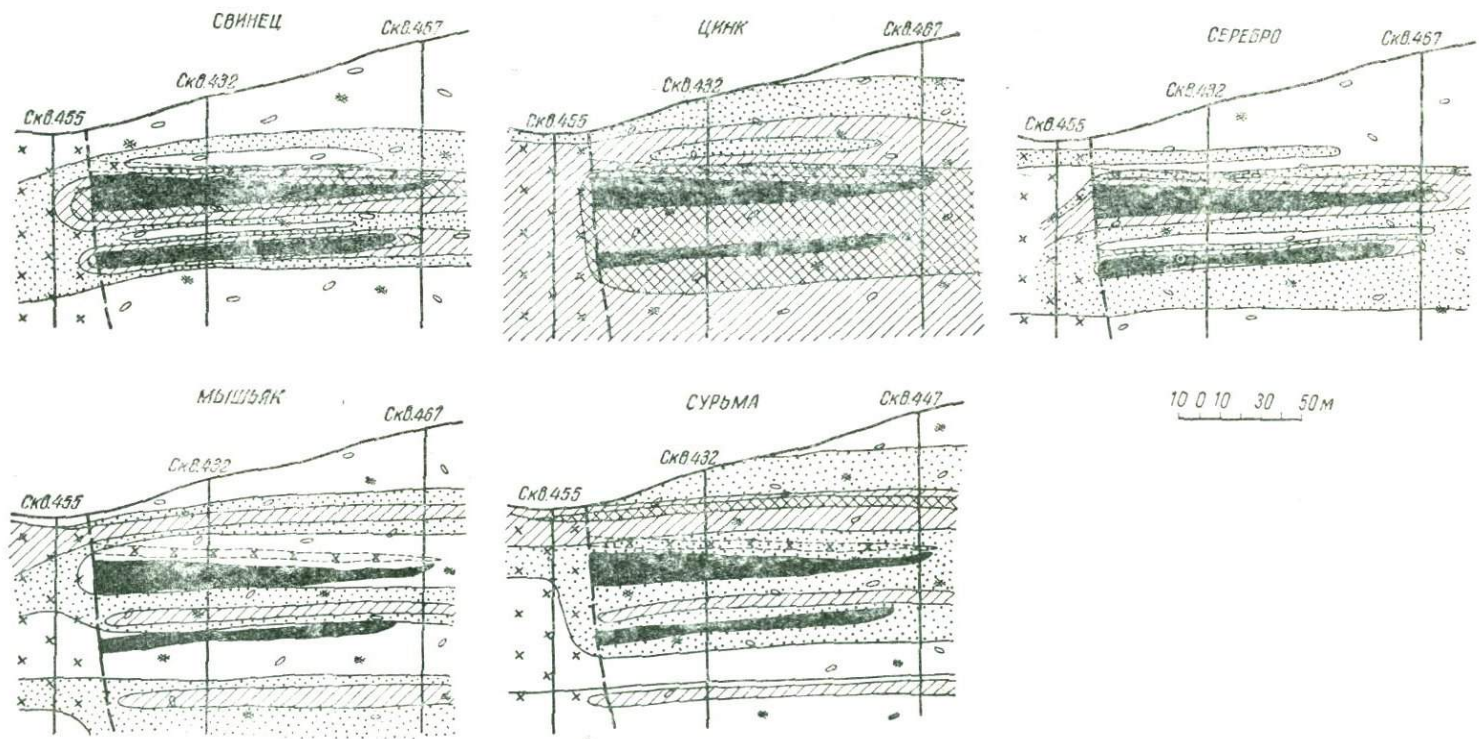


Рис. 13. Ореолы рассеяния пологозалегающих рудных тел. Геологический разрез по Е. П. Мещерякову. Условные обозначения см. на рис. 12

лось выше, на месторождениях с крутопадающими рудными телами мышьяк также образует «шапки» высоких концентраций над рудными телами.

О ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРЕОЛАХ РАССЕЯНИЯ

Знание форм нахождения химических элементов в ореолах их рассеяния помогает выяснить вопросы генезиса ореолов рассеяния, связи их с рудными телами, что в свою очередь позволяет более обоснованно выделить элементы-индикаторы рудных тел.

С целью выяснения форм нахождения элементов, образующих ореолы рассеяния вокруг рудных тел, нами параллельно с геохимическим опробованием проводилось изучение вещественного состава ореолов рассеяния.

Как показывает изучение вещественного состава ореолов рассеяния, по формам нахождения можно выделить две группы элементов. К первой группе можно отнести элементы, встречающиеся в ореолах рассеяния преимущественно в виде собственных минералов; такими являются свинец, цинк, медь, мышьяк. Ко второй группе относятся элементы, присутствующие в других минералах как примеси: серебро, сурьма, кадмий, висмут; собственных минералов этих элементов в ореолах рассеяния не установлено.

В пределах ореолов рассеяния свинца и цинка, являющихся наиболее широкими и протяженными, повсеместно в различных количествах устанавливаются галенит и сфалерит, всегда образующие тесные прорастания и свидетельствующие о близко одновременном образовании.

Галенит и сфалерит в ореолах рассеяния, как и в рудных телах, метасоматически замещают известняк, который, как правило, мраморизован; практически они не затрагивают скарновые минералы, выполняя иногда трещины в них. Это свидетельствует о более раннем времени образования скарнов, и процесс выделения рудных минералов по существу является наложенным на скарны.

Обращает на себя внимание полная идентичность особенностей выделения сфалерита и галенита и их возрастных взаимоотношений в рудных телах и в ореолах рассеяния. В этом отношении ореолы рассеяния отличаются от рудных тел лишь меньшими концентрациями и размерами выделений. Других собственных минералов свинца и цинка в ореолах рассеяния не установлено. Результаты количественных подсчетов этих минералов в шлифах и спектрального анализа на свинец и цинк находятся в прямой зависимости. Эти данные позволяют считать, что ореолы рассеяния свинца и цинка являются по существу рассеянием их сульфидов — галенита и сфалерита. Подтверждением такого положения служит также отсутствие этих металлов в порообразующих и скарновых минералах, слагающих вмещающие рудные тела породы.

Выше отмечалось, что вокруг рудных тел, как правило, устанавливается макроскопически видимая вкрапленность галенита и сфалерита. Результаты геохимического опробования показывают, что суммарное содержание свинца и цинка в зонах вкрапленников составляет 0,6—1,0%, т. е. эти зоны представляют собой поля ореолов с высокими концентрациями. Такие поля составляют лишь ничтожную долю общих ореолов рассеяния, оконтуренных геохимическим опробованием вмещающих рудные тела пород.

Из собственных минералов мышьяка в ореолах рассеяния при микроскопическом изучении установлен арсенопирит, причем только в шлифах, отобранных из полей максимальных концентраций мышьяка,

расположенных над рудными телами. Совместных выделений арсенипирита и основных компонентов руд галенита и сфалерита нами в шлифах не обнаружено, и их возрастные взаимоотношения остались невыясненными.

Кроме арсенипирита, мышьяк в тех или других количествах обнаруживается в мономинеральных пробах галенита и сфалерита, отобранных из ореолов рассеяния. Это обстоятельство позволяет считать, что в ореолах рассеяния, развивающихся вокруг рудных тел, мышьяк присутствует как в виде примеси в рудных минералах (галените, сфалерите), так и в виде собственного минерала — арсенипирита.

На месторождении с пологозалегающими рудными телами, где ореол рассеяния меди практически отсутствует, за пределами рудных тел собственных минералов меди не установлено. Только в отдельных шлифах, отобранных из рудных тел, обнаруживаются микроскопические выделения халькопирита. На месторождениях вокруг крутопадающих рудных тел выявляются отчетливые ореолы рассеяния меди. В этих ореолах при микроскопическом изучении устанавливается халькопирит в количествах, пропорциональных концентрации меди в полях ореола рассеяния. Халькопирит, как правило встречается в виде тонкой эмульсионной вкрапленности в выделениях сфалерита.

Других собственных минералов меди в ореолах рассеяния не обнаружено.

Как следует из табл. 5, медь постоянно присутствует в мономинеральных пробах галенита и в особенности сфалерита, что объясняется постоянным присутствием эмульсионной вкрапленности халькопирита в выделениях этих минералов.

В скарновых минералах вмещающих пород медь обнаруживается в десятитысячных долях процента, что не превышает ее фоновое содержание. Приведенные данные позволяют считать, что основным носителем меди в ореоле ее рассеяния является халькопирит.

Собственных минералов серебра, сурьмы, кадмия и висмута в ореолах рассеяния не обнаружено. Эти элементы установлены в мономинеральных пробах, отобранных из рудных тел и ореолов рассеяния. Из табл. 5 следует, что серебро постоянно присутствует в значительных количествах (в среднем — десятые доли процента) в галените, отобранном как из рудных тел, так и из ореолов рассеяния. В меньших количествах (не более первых сотых долей процента) серебро содержится также в сфалерите, однако это скорее всего обусловлено тем, что из-за тесного прорастания галенита и сфалерита отбор чистых мономинеральных проб практически невозможен, и в пробах сфалерита всегда в тех или иных количествах присутствует галенит, содержащий серебро. Действительно, содержание свинца во всех пробах сфалерита превышает 0,01%. Это положение хорошо согласуется с наблюдающейся тесной пространственной связью ореолов рассеяния свинца и серебра, отмеченной нами выше.

Сурьма в десятых долях процента содержится в галените, в сфалерите — не более 0,01%, в скарновых минералах и остальных породообразующих минералах вмещающих пород спектральным анализом сурьма не установлена.

Кадмий является постоянной примесью в сфалерите, где его содержание достигает 1%, а иногда и более.

Висмут в сотых, а иногда и в десятых долях процента обнаруживается только в отдельных мономинеральных пробах галенита.

Идентичность форм нахождения перечисленных выше элементов в рудных телах и окаймляющих их ореолах рассеяния, аналогичные возрастные взаимоотношения рудных минералов (пирита, галенита, сфалерита) между собой и по отношению к скарновым минералам в рудных телах и ореолах рассеяния, присутствие одних и тех же эле-

Содержание элементов-примесей в галените и сфалерите (в вес. %)

Минерал	№ пробы	Pb	Zn	Cu	Ag	As	Sb	Cd	Вl	Ba	Mn	Ti	Cr	
Месторождение с группой рудных тел, выходящих на поверхность														
Рудное тело	Галенит	1 2	— —	1,0 0,3	0,1 0,1	1,0 0,1	Не обн. 0,01	Сл. 0,1	0,03 0,01	Не обн. 0,03	Не обн. „	0,3 0,1	0,01 0,01	Сл. Не обн.
	Сфалерит	1 2	1,0 0,3	— —	0,03 0,1	0,01 0,03	0,01 0,01	0,01 0,01	1,0 1,0	Не обн. „	Не обн. „	0,1 0,3	Не обн. 0,001	Не обн. „
Ореол рассеяния	Галенит	1 2	— —	0,03 0,3	0,003 0,03	0,2 0,1	0,01 Не обн.	0,1 0,1	0,003 0,01	Не обн. 0,03	Не обн. 0,003	0,03 0,1	Не обн. „	Не обн. „
	Сфалерит	1 2	1,0 1,0	— —	0,1 0,3	0,003 0,01	0,3 0,01	0,1 0,03	1,0 1,0	Не обн. „	Не обн. „	0,3 0,1	0,001 0,001	Не обн. „
Месторождение с пологозалегающими рудными телами														
Рудное тело	Галенит	1 2	— —	1,0 0,003	0,01 0,003	0,1 0,3	Не обн. 0,03	0,1 0,3	0,03 Сл.	Не обн. „	Не обн. „	0,003 0,3	Не обн. 0,001	Не обн. „
	Сфалерит	1 2	1,0 1,0	— —	0,3 0,3	0,01 0,01	0,01 0,03	Не обн. 0,01	1,0 1,0	0,001 Не обн.	Не обн. „	0,1 0,3	Не обн. „	Не обн. „
Ореол рассеяния	Галенит	1	—	0,1	0,003	0,1	Сл.	0,1	Сл.	Не обн.	Не обн.	0,3	0,001	Не обн.
	Сфалерит	1	1,0	—	0,3	0,01	0,01	Не обн.	1,0	0,001	„	0,1	Не обн.	„
Чувствительность анализа, %			0,001	0,01	0,0001	0,0001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,001	0,001	0,001

ментов-примесей в рудных минералах, отобранных из рудных тел и ореолов рассеяния, свидетельствуют об их тесной генетической связи. Эти особенности указывают на то, что рудные тела и ореолы рассеяния образовались одновременно из одних и тех же порций гидротермальных растворов в близких физико-химических условиях и в основном в той же последовательности выделения рудных минералов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Изложенный выше материал по эндогенным ореолам рассеяния, образующимся вокруг свинцово-цинковых рудных тел, позволяет сделать следующие выводы.

1. Как вокруг крутопадающих, так и вокруг пологозалегающих рудных тел во вмещающих их скарнированных известняках и конгломератах образуются ореолы рассеяния химических элементов, входящих в состав рудных тел. Вокруг крутопадающих рудных тел развиты интенсивные ореолы рассеяния свинца, цинка, мышьяка, серебра, кадмия и меди, а вокруг пологозалегающих — свинца, цинка, мышьяка, сурьмы и серебра.

2. Размеры ореолов рассеяния значительно превышают размеры рудных тел. Наиболее широкие и протяженные ореолы образуют свинец и цинк.

3. Форма ореолов рассеяния в значительной степени определяется положением рудовмещающих дизъюнктивных нарушений и зон трещиноватости. Для крутопадающих нарушений характерно преимущественное развитие ореолов над рудным телом, а для пологозалегающих — в плоскости залегания рудных тел.

4. Убывание концентраций химических элементов, образующих ореолы вокруг крутопадающих рудных тел, к крайевым частям ореолов происходит по логарифмическому закону. При этом градиенты содержаний отдельных химических элементов примерно одинаковы. Они больше над рудным телом и меньше ниже рудных тел.

5. Размеры ореолов рассеяния зависят от многих факторов. На размеры прежде всего будут влиять физико-механические и литологические свойства пород, геолого-структурные условия локализации рудных тел, а также концентрации элементов в ореолах рассеяния, градиенты этих концентраций и величины геохимического фона элементов. Выше было установлено, что размеры ореолов рассеяния зависят от концентрации элементов в рудном теле (прямая зависимость) и величин градиентов концентраций и геохимического фона элементов во вмещающих породах (обратная зависимость).

6. По характеру распределения в ореолах рассеяния полей высоких концентраций химических элементов отчетливо выделяются две группы элементов:

а) химические элементы, образующие, в общем, симметричные относительно рудных тел ореолы. Поля максимальных концентраций этих элементов совпадают с рудными телами. К числу таких элементов относятся свинец, цинк, серебро, кадмий, медь;

б) химические элементы, образующие резко асимметричные относительно рудных тел ореолы рассеяния. Поля максимальных концентраций этих элементов располагаются выше рудных тел, образуя над ними своеобразные «шапки». Такими элементами являются мышьяк и сурьма.

Различия в распределении содержаний химических элементов в ореоле рассеяния обуславливают зональность строения ореолов. Параметрами зональности являются величины отношений средних содержаний элементов второй группы к величинам первой группы. Эти величины различны на разных уровнях вертикального разреза ореола.

Выше рудных тел они значительно больше, чем ниже их. Зональность строения ореолов рассеяния есть зональность отложения.

7. Идентичность форм нахождения химических элементов в ореолах рассеяния и в рудных телах, аналогичные взаимоотношения рудных минералов в них, присутствие в этих минералах одних и тех же элементов-примесей позволяют предположить, что образование ореолов рассеяния химических элементов в коренных породах вокруг рудных тел происходило одновременно с образованием самих рудных тел из одних и тех же порций гидротермальных растворов.

ГЛАВА V

ЭНДОГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОКРУГ РУДНЫХ ТЕЛ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Эндогенные ореолы рассеяния химических элементов, образующиеся около урановых рудных тел, изучались нами на месторождениях одной рудной провинции. Среди них преобладали рудные тела, залегающие в крутопадающих нарушениях. Описание наиболее типичных из них приводится ниже.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЗАЛЕГАЮЩЕЕ В КИСЛЫХ ЭФФУЗИВАХ

Краткое геологическое описание месторождения

Месторождение располагается в пределах толщи эффузивно-осадочных пород верхнего карбона. Вмещающие месторождение верхние горизонты этой толщи представлены эффузивно-осадочной свитой. В пределах свиты насчитывается около десятка литологически различающихся горизонтов, сложенных кварцевыми порфирами, их туфами, туфобрекчиями и фельзит-порфирами. Все петрографические разновидности пород близки по своему химическому составу. Они обладают сравнительно большой общей пористостью, которая колеблется от 8 до 13%, а в отдельных случаях до 16% (туфы) и даже до 20% (туфобрекчии). Породы с более высокой пористостью характерны для верхних горизонтов свиты. Породы залегают почти горизонтально.

Выше эффузивно-осадочной свиты залегают породы свиты кварцевых порфиров. Они перекрывают рудовмещающие породы в виде покрова мощностью от первых метров до 200—400 м и залегают также почти горизонтально.

Для района месторождения характерно глыбовое строение рудовмещающей толщи, обусловленное наличием ряда крутопадающих почти параллельных сбросов северо-восточного простирания. Некоторые сравнительно мелкие нарушения являются оперяющими более крупных разломов. У большинства нарушений северо-западные блоки пород опущены относительно юго-восточных на 60—100 и даже на 500 м. Наличие в крупных тектонических разломах кварцевых порфиров и экструзивных тел кварцевого порфира герцинского цикла вулканизма позволяет относить образование этих разломов к концу верхнего карбона.

На площади месторождения в блоке пород, ограниченном двумя разломами (рис. 15), в полосе шириной около 600 м и длиной до 2500 м отмечается ряд более мелких крутопадающих тектонических трещин, которые располагаются, в общем, параллельно крупным дизъюнктивным нарушениям. Ряд близко расположенных мелких тектонических

трещин образует трещинные зоны, часть из которых является рудоносными.

Рудоносные трещинные зоны характеризуются крутым падением и кулисным расположением как в плане, так и в разрезе. Они представляют собой участки дробленых или трещиноватых пород мощностью от 0,5 до 2 м и более. В пределах таких зон наблюдается ряд сближенных тектонических трещин, наиболее крупные из которых содержат тектоническую глину трения. Между отдельными тектоническими швами наблюдается большое количество мелких трещин, соединяющихся



Рис. 15. Распределение осветленных пород на площади месторождения

1 — туфы кварцевых порфиров; 2 — фельзит-порфиры; 3 — дайки кварцевых порфиров; 4 — тектонические разломы; 5 — урановые рудные тела; а — выходящие на поверхность, б — скрытые; 6—8 — интенсивность осветления пород: слабая — (6), средняя (7), высокая (8)

с крупными. В большинстве случаев рудоносные зоны выклиниваются, не достигая дневной поверхности, т. е. являются скрытыми.

Рудные тела месторождения, залегающие в рудоносных трещинных зонах, представлены серией небольших жил и прожилков урановой смолки, которые по простиранию и падению то разветвляются, то сливаются друг с другом. Кулисное строение рудоносных тектонических зон определяет и кулисообразное залегание рудных тел месторождения. Рудные тела месторождения, как правило, являются скрытыми.

Рудные тела сложены в основном урановой смолкой и урановой чернью. Другие минералы в рудных телах встречаются в подчиненных количествах. Урановая смолка часто цементирует в рудоносных зонах обломки вмещающих пород или встречается в виде корочек, каемок и почек колломорфного строения. Она образует тесные сращения с пиритом

том, галенитом, сфалеритом, блеклой рудой и иногда содержит мельчайшие включения галенита, реже халькопирита, еще реже блеклой руды, пираргирита и молибденита. Галенит в рудных жилах по количеству занимает второе место после урановой смолки, в меньшем количестве присутствует пирит и еще в меньших — сфалерит, молибденит, блеклая руда, халькопирит. Из нерудных минералов в смолковых жилах установлены серицит, кальцит, кварц, альбит, хлорит, а иногда флюорит, однако количество их по сравнению с рудными минералами весьма незначительно.

В рудоносных зонах над рудными телами развиваются прожилки кальцита, которые часто залечивают тектонические швы на продолжении жил и прожилков урановой смолки после их выклинивания. В прожилках кальцита иногда встречаются мелкие выделения пирита, сфалерита, галенита и блеклой руды. Редко они имеют кальцит-флюоритовый состав.

На основе парагенетических взаимоотношений рудных и жильных минералов, а также взаимного положения рудных тел и других минеральных образований (зон вкрапленности вокруг рудных тел) считается, что месторождение сформировалось в одну гидротермальную стадию. На месторождении широко проявлено гидротермальное изменение вмещающих пород, представленное осветлением, пиритизацией, покраснением и альбитизацией, которые наблюдаются в виде соответствующих ореолов вокруг урановых рудных тел. Менее проявлены окварцевание, серицитизация и хлоритизация вмещающих пород. Картирование, проведенное по профилям через 100—150 м (см. рис. 15), показало, что такие осветленные породы образуют в совокупности широкую (до 600 м) полосу измененных пород северо-восточного простирания.

Участки более интенсивного осветления пород приурочены к выходящим на поверхность урановым рудным телам или располагаются над скрытыми рудными телами.

Вдоль крупных дизъюнктивных нарушений в некоторых случаях осветленные породы прослеживаются в виде узких зон.

Ореолы рассеяния на площади месторождения

Проведенная на площади месторождения геохимическая съемка выявила на поверхности в коренных породах первичные ореолы рассеяния ряда химических элементов. Из них наиболее четко проявлены и более детально нами изучены ореолы рассеяния подвижного урана, свинца и молибдена (рис. 16, 17 и 18).

Наиболее широкое поле распространения имеют ореолы рассеяния подвижного урана, более узкое — ореолы рассеяния молибдена. Ореолы рассеяния свинца занимают по распространению промежуточное положение.

Отмечается, что максимумы содержания всех изученных нами химических элементов имеют четкую приуроченность к выходящим на поверхность урановым рудным телам или располагаются на участках, где залегают скрытые рудные тела. Наибольшие размеры полей максимальных концентраций наблюдаются у ореолов рассеяния свинца. Ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена в коренных породах на поверхности в основном не распространяются за пределы участков осветленных пород (см. рис. 15). Таким образом, на этом месторождении контуры осветленных пород могут указывать на контуры полей максимального распространения ореолов рассеяния химических элементов.

Размеры проявляющихся на поверхности месторождения ореолов и концентрация в них элементов различны для участков с выходящими на поверхность и участков со скрытыми рудными телами.

Ореолы рассеяния вокруг рудных тел, выходящих на поверхность (II и III рудные зоны), по сравнению с ореолами вокруг скрытых рудных тел характеризуются меньшей шириной (30—40 м) и высокими концентрациями (до 50 ГФ) как подвижного урана, так и других элементов-индикаторов, причем ореолы рассеяния урана являются более широкими и более интенсивными по сравнению с ореолами рассеяния свинца и молибдена. В то же время над скрытыми рудными телами, залегаю-

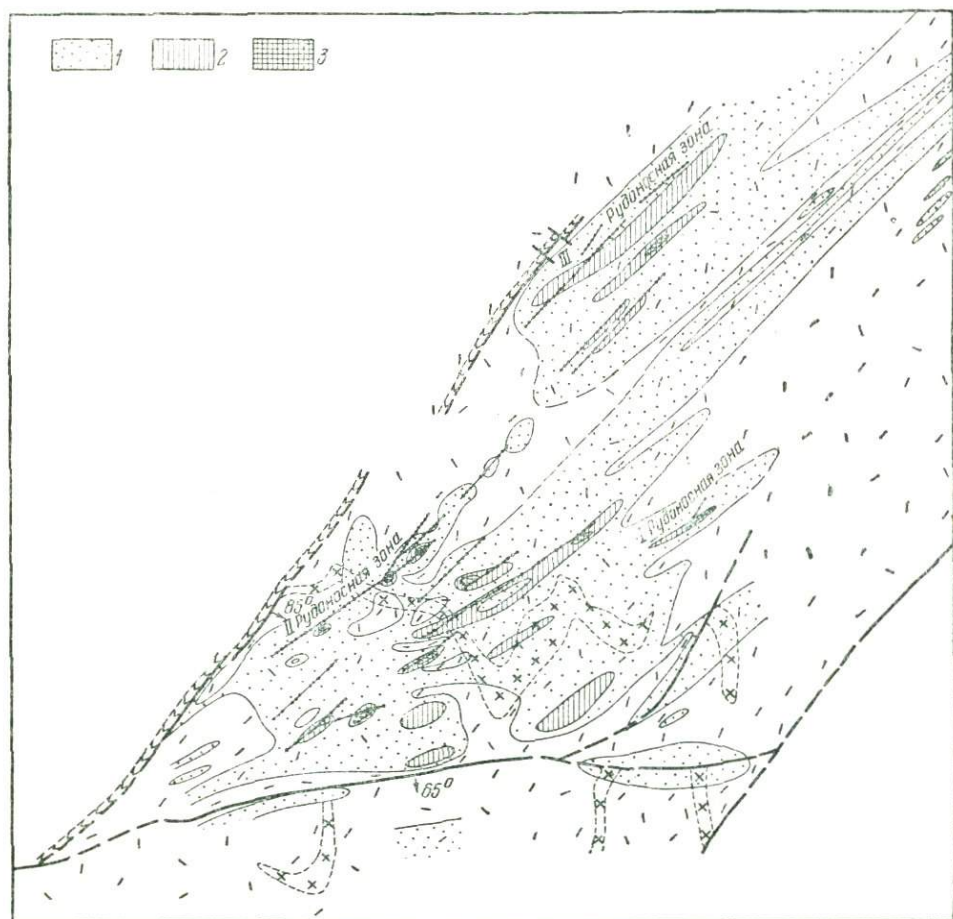


Рис. 16. Распределение ореолов рассеяния подвижного урана на площади месторождения

Содержание подвижного урана в породах (ГФ): 1—от 1,8 до 20; 2—от 20 до 50; 3—более 50; остальные обозначения см. на рис. 15

щими на глубине 100—120 м на юго-западном фланге месторождения (рудные тела зоны Меридиональной и др.), ширина ореолов рассеяния подвижного урана, свинца и молибдена на поверхности достигает 70—80 м, с концентрацией в них элементов до 50 ГФ, а иногда и выше.

При более глубоком залегании скрытых рудных тел ширина ореолов рассеяния у обособленных рудных тел на поверхности составляет всего 20—40 м, а содержание элементов-индикаторов в ореолах падает до 5—20 ГФ. Это хорошо видно в средней части месторождения и на его северо-восточном фланге, где скрытые рудные тела залегают на значительной глубине.

На месторождении были изучены первичные ореолы рассеяния химических элементов вокруг нескольких урановых рудных тел, из кото-

рых одно выходит на поверхность, а остальные являются скрытыми. Глубина залегания последних колеблется от 100 до 270 м.

Хорошая разведанность рудных тел горными выработками и скважинами позволила детально изучить ореолы рассеяния элементов на различных уровнях относительно верхней и нижней границ рудных тел. Максимальное удаление профилей опробования над отдельными урановыми рудными телами достигало 250—270 м и ниже их — 80 м. Изучалось распределение различных химических элементов в породах, вме-

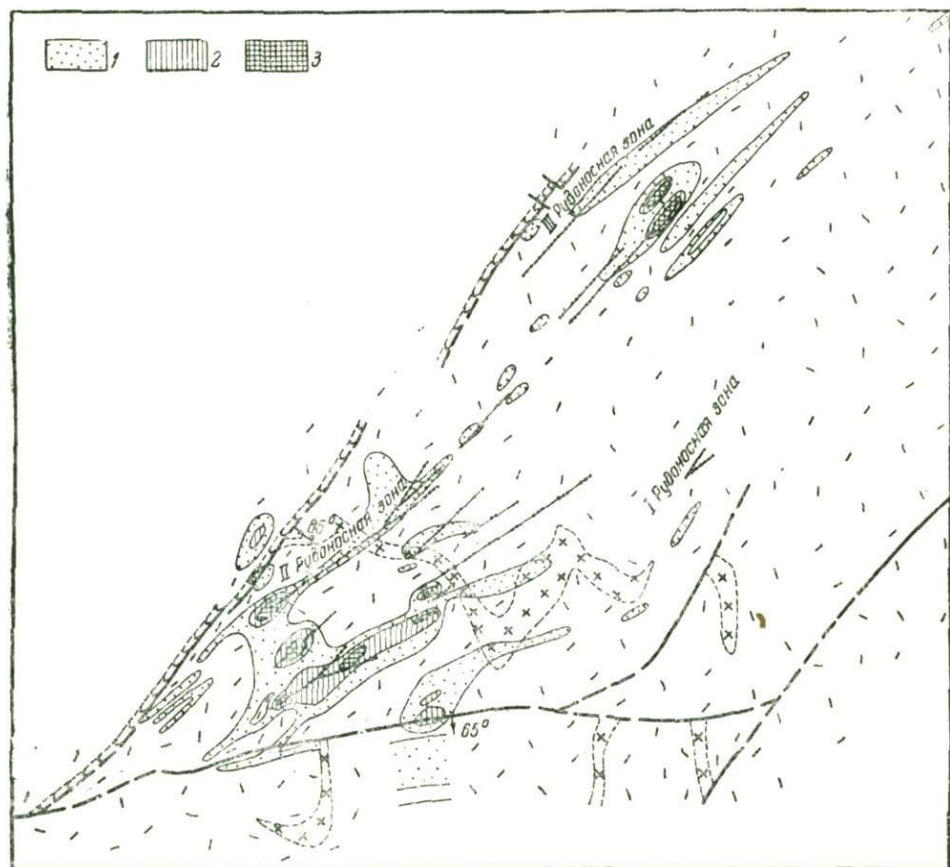


Рис. 17. Распределение ореолов рассеяния свинца на площади месторождения

Содержание свинца в породах (ГФ): 1 — от 2 до 5; 2 — от 5 до 20; 3 — от 20 до 50; 4 — более 50; остальные обозначения см. на рис. 15

щающих рудные тела, в том числе подвижного урана, свинца, молибдена, цинка, серебра, меди, ртути, мышьяка, циркония, бериллия, бария и др. В результате изучения были выявлены широкие ореолы рассеяния подвижного урана, свинца, молибдена и менее широкие ореолы рассеяния цинка, серебра, меди и ртути. Остальные химические элементы четко выраженных ореолов рассеяния вокруг рудных тел не образуют.

Ниже дается описание ореолов рассеяния элементов около двух типов рудоносных зон месторождения: вокруг обособленных рудоносных зон на примере рудного тела зоны Меридиональной — месторождения, залегающего в кислых эффузивах, и около группы сближенных рудоносных зон, представителем которых на этом месторождении являются условно названные зоны «Новые».

Описание ореолов рассеяния вокруг рудного тела зоны Меридиональной

Зона Меридиональная является крутопадающим (угол падения 85°) дизъюнктивным нарушением. Она чаще всего представляет собой два сближенных тектонических шва, между которыми вмещающие породы разбиты трещинами или брекчированы. В средней части зона Меридиональная проходит по контакту вулканического некка, сложенного фельзит-порфирами, который находится в висячем боку зоны. На флангах

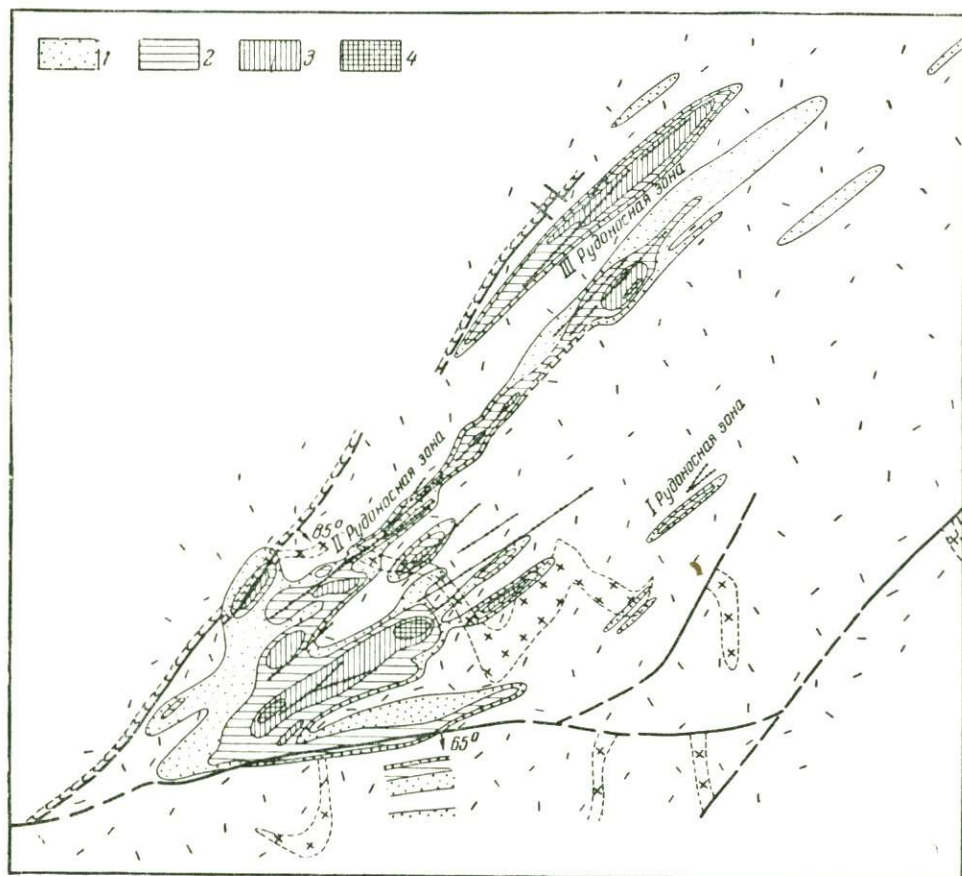


Рис. 18. Распределение ореолов рассеяния молибдена на площади месторождения. Содержание молибдена в породах (ГФ): 1 — от 2 до 20; 2 — от 20 до 50; 3 — более 50; остальные обозначения см. на рис. 15

зоны и в ее лежачем боку вмещающие породы представлены кварцевыми порфирами и сферолитовыми кварцевыми порфирами.

Рудносная зона является скрытой и не доходит до поверхности на 60—70 м.

Рудные тела зоны представлены тонкими жилами, состоящими из серни маломощных прожилков смолки. Таких сближенных параллельных прожилков на некоторых участках зоны насчитывается до пяти. В лежачем боку зоны отмечается сильная трещиноватость вмещающих пород. Над рудными телами зона ветвится и отдельные ее ветви выклиниваются на расстоянии около 40 м выше рудных тел.

Урановые рудные тела, локализующиеся в зоне Меридиональной, также являются скрытыми.

Ореолы рассеяния всех химических элементов (рис. 19) располагаются в общем симметрично по отношению к плоскости рудоносной зоны и имеют вытянутую в вертикальном направлении овальную форму.

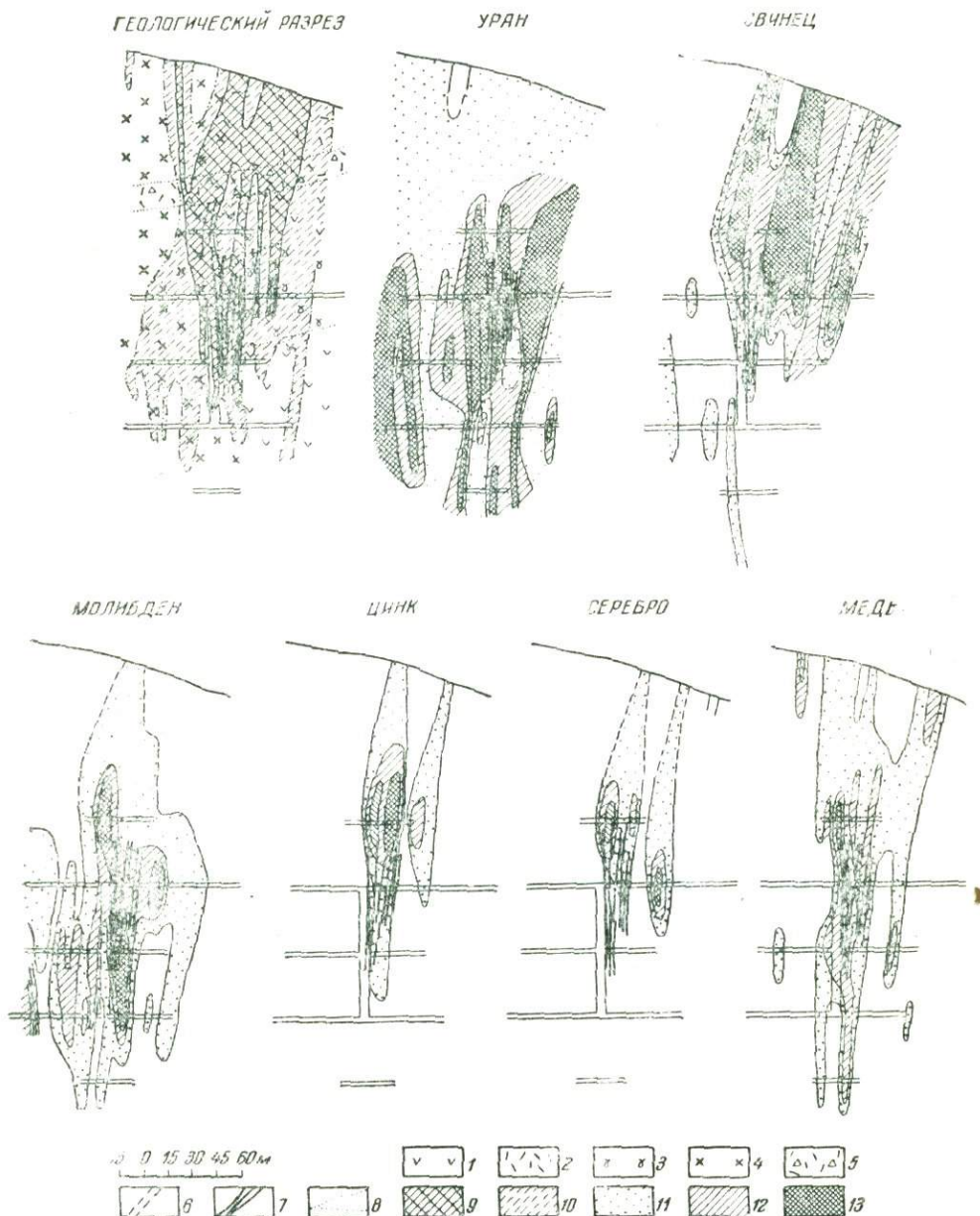


Рис. 19. Ореолы рассеяния элементов вокруг крутопадающих трещинных зон в разрезе 1 — кварцевые порфиры; 2 — туфы кварцевых порфиров; 3 — сферолит-порфиры; 4 — фельзит-порфиры; 5 — туфобрекчи кварцевых порфиров; 6 — рудоносные трещинные зоны; 7 — урановые рудные тела; 8 — контакты пород; 9—10 — интенсивность осветления пород: высокая (9), слабая и средняя (10); 11—13 — содержание элементов в ореолах рассеяния (ГФ): от 2 до 20 (11), от 20 до 50 (12), более 50 (13)

В отдельных участках контуры ореолов рассеяния в зависимости от интенсивности мелкой трещиноватости в породах и расположения крупных трещин значительно усложняются. Так, например, ширина ореолов рассеяния вокруг зоны Меридиональной заметно увеличена в ее лежачем боку, что связано с более интенсивной мелкой трещиноватостью пород в этой части поля ореола.

Подвижный уран. Подвижный уран, геохимический фон которого равен 0,000018%, образует интенсивный ореол рассеяния на уровне рудного тела, ниже и выше его. В поле с содержанием свыше 50 ГФ он имеет на уровне верхней части рудного тела наибольшую ширину, равную 50 м, и распространяется значительно ниже рудного тела. Выше рудного тела это поле распространяется лишь на 40 м. В полях с интенсивностью от 1,5 до 20 ГФ ореол имеет ширину более 100 м как на уровне рудного тела, так и на поверхности, то есть в 100 м выше рудного тела.

Свинец. Ореол рассеяния свинца, геохимический фон которого равен 0,01%, занимает резко отличное от предыдущего положение относительно уранового рудного тела. Он развивается главным образом на уровне верхней части рудного тела и выше и полностью выклинивается на уровне нижней границы рудного тела. Максимальной ширины (около 95—100 м) он достигает несколько выше рудного тела. На поверхности ширина ореола рассеяния свинца превышает 90 м, причем ширина полей с содержанием свинца выше 50 ГФ здесь равна 20 м. Таким образом, на расстоянии 100 м над рудным телом признаков затухания ореола рассеяния свинца еще не отмечается.

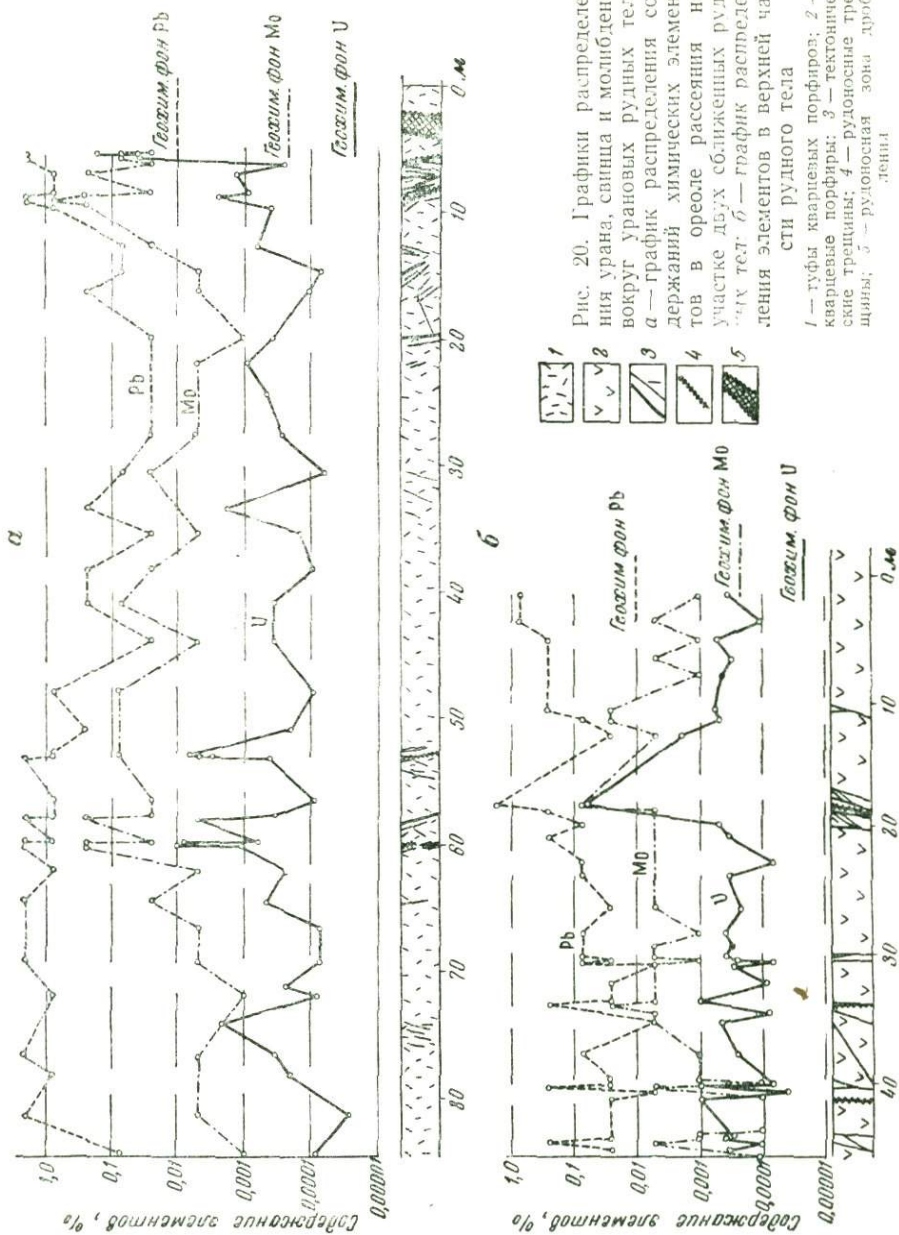
Молибден. Молибден, геохимический фон которого равен 0,0002%, также образует широкий и четкий ореол вокруг рудного тела. Он развивается ниже рудного тела и выше его, но максимальной ширины (90 м) он достигает на уровне рудного тела. Поля с большим содержанием элемента (свыше 50 ГФ) развиваются на уровне рудного тела, лишь незначительно распространяясь выше и ниже его. На поверхности ореол рассеяния молибдена в полях с интенсивностью 2—20 ГФ имеет ширину всего 13 м, что указывает на его выклинивание кверху. Ниже рудных тел ореол молибдена выклинивается на расстоянии около 80 м от нижней его границы. Таким образом, ореол рассеяния молибдена относительно уранового рудного тела занимает среднее положение между ореолами рассеяния подвижного урана и свинца.

Цинк, серебро, медь и ртуть. Ореолы рассеяния цинка, серебра, меди и ртути имеют меньшие размеры по сравнению с ураном, свинцом и молибденом. Их максимальная ширина в полях с содержанием 2—20 ГФ соответственно равна 52, 50, 60 и 50 м. Поля с содержанием элементов более 50 ГФ имеют характер пятен, расположенных у верхних частей рудного тела. Ореолы рассеяния цинка и серебра на поверхности почти полностью выклиниваются, ширина ореола рассеяния меди уменьшается до 30 м, а ореол рассеяния ртути не достигает поверхности, выклиниваясь в 60 м над рудным телом. Ореолы рассеяния цинка и серебра по направлению вниз затухают на уровне средней части рудного тела, ореол рассеяния ртути — у нижней части рудного тела, а ореол рассеяния меди — ниже рудного тела на расстоянии около 70 м.

Изучение распределения рассеянных элементов в ореолах в деталях показывает, что элементы в ореоле рассеяния распределяются весьма неравномерно. Коэффициент вариации достигает в среднем для урана 250% и для свинца 200%.

На рис. 20 видно, что кривые распределения элементов в ореоле имеют вид ломаных линий с большим количеством пик и провалов. Наибольший пик имеется около рудного тела, остальные — над крупными трещинами. В правой части графика, где в породах практически отсутствуют трещины, заметно постепенное уменьшение содержаний урана и молибдена с удалением от рудного тела, аналогичное тому, что наблюдалось для свинца и цинка около крутопадающих свинцово-цинковых рудных тел. У свинца этой закономерности не видно, по-видимому, в связи с высоким его содержанием в ореоле над рудным телом.

На рис. 20, а ореолы рассеяния обоих тел сливаются, в связи с чем наблюдается более равномерное распределение химических элементов в ореолах. Последнее объясняется также и тем, что поле рассеяния между рудными телами имеет относительно мало трещин.



Зональность ореола рассеяния вокруг рудного тела зоны Меридиональной

Из вертикальных разрезов ореолов рассеяния урана, свинца, молибдена, цинка и других элементов, изображенных на рис. 19, видно, что ореол рассеяния урана располагается примерно симметрично по отношению к рудному телу. Ореолы же рассеяния свинца и цинка как бы сдвинуты вверх и развиваются преимущественно над рудным телом. Ореол рассеяния молибдена занимает в этом отношении промежуточное положение.

Среднее содержание и величины отношений среднего содержания элементов на различных уровнях ореола рассеяния

Уровень среза ореола рассеяния относительно рудного тела	Единица измерения	Среднее содержание элементов в ореоле рассеяния						Отношение среднего содержания элементов на различных уровнях		
		Подвижный уран	Свинец	Молибден	Цинк	Серебро	Медь	$\frac{Pb}{U}$	$\frac{Mo}{U}$	$\frac{Pb}{Mo}$
100 м выше рудного тела	% ГФ	0,000062 3,4	0,152 15	0,00052 2,6	0,0048 2,4	0,000082 0,8	0,00144 1,44	4,4	0,77	5,8
20—10 м выше рудного тела	% ГФ	0,001492 83	0,475 47	0,0032 16	0,15 75	0,002 20	0,00765 7,65	0,57	0,19	2,9
Верхняя часть рудного тела	% ГФ	0,00734 408	0,249 25	0,00881 44	0,015 7,5	0,00047 4,7	0,00489 4,89	0,06	0,11	0,57
Нижняя часть рудного тела	% ГФ	0,00361 200	0,01 1	0,00278 14	0,0069 3,4	0,00013 1,3	0,00376 3,76	0,005	0,07	0,07
20 м ниже рудного тела	% ГФ	0,000937 52	0,0033 0,3	0,00033 1,6	0,0019 1	0,000083 0,8	0,00099 1,0	0,005	0,03	0,019

Примечание. Среднее содержание элементов в процентах вычислялось как среднее арифметическое из содержания всех проб (20—30 шт.) металлометрического профиля на данном уровне разреза, а среднее содержание в ГФ (геохимических фонах) получено путем деления среднего содержания элемента в процентах на величину геохимического фона этого элемента.

Такое различное положение ореолов рассеяния химических элементов относительно рудного тела создает зональное строение общего ореола рассеяния. Зональное строение ореола хорошо отражается в изменении величин отношений средних содержаний свинца и молибдена к урану на разных уровнях вертикального разреза ореола. Из табл. 6 видно, что эти величины закономерно убывают сверху вниз. Для отношения содержания свинца к урану это убывание очень резкое — от 4,4 над рудным телом до 0,005 ниже его. Это создает четкие разли-

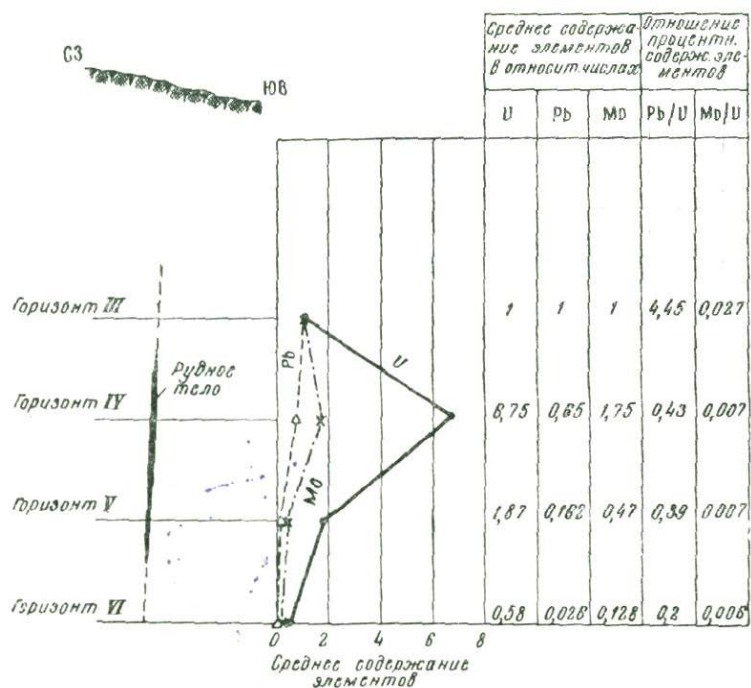


Рис. 21. Графики изменения содержаний урана, свинца и молибдена с глубиной в рудном теле зоны Меридиональной

чия между интервалами ореола рассеяния на уровнях, выше и ниже рудного тела.

Необходимо отметить, что зональность строения ореолов рассеяния химических элементов в известной мере есть отражение распределения химических элементов в вертикальном разрезе рудного тела. На рис. 21 приведены относительные содержания урана, свинца и молибдена на разных уровнях рудного тела. За единицу принято содержание этих элементов в верхней части рудного тела. Соответствующие соотношения содержания свинца и молибдена к урану также характеризуют вертикальную зональность. Величина соотношений содержания свинца к урану, так же как в ореолах рассеяния, к низу резко уменьшается. Однако это уменьшение в ореоле почти в 10 раз больше, чем в рудном теле.

Описание ореолов рассеяния вокруг рудных тел зон «Новых»

Зоны «Новые» были обнаружены в пределах месторождения, залегающего в кислых эффузивах. Они представлены серией параллельных крутопадающих дизъюнктивных нарушений северо-восточного простирания.

Количество отдельных зон на различных участках непостоянно и меняется от 3 до 5 на разных горизонтах. Характерно наличие диагно-

нальных трещин, соединяющих смежные рудоносные зоны, и кулисное расположение этих зон.

Все основные зоны являются рудовмещающими и скрытыми и выклиниваются на расстоянии 230—250 м и более от поверхности. Вмещающими породами этих зон являются эффузивные кварцевые порфиры. Выше рудоносных зон залегают туфобрекчии, сферолит-порфиры, фельзит-порфиры и туфы кварцевых порфиров.

Строение отдельных рудоносных зон и рудных тел, залегающих в них, практически не отличается от описанного выше рудного тела зоны Меридиональной.

Вокруг рудных тел зон «Новых» установлен сложный по форме ореол рассеяния химических элементов, из которых детально изучались лишь ореолы рассеяния подвижного урана, свинца и молибдена (рис. 22). Характерным отличием их от ореолов рассеяния рудного тела зоны Меридиональной является то, что ореолы отдельных рудных тел здесь сливаются в общий ореол, охватывающий все рудоносные зоны. Ореол над рудными телами имеет значительную протяженность по вертикали, форма ореола более сложная. В таком сложном ореоле рассеяния имеется несколько максимумов содержания элементов и участки — «окна», где содержание рассеянных элементов падает до величины геохимического фона.

Уран. Ореол рассеяния подвижного урана особенно интенсивно развит над рудными телами на расстоянии до 80 м. В этой части ореола наряду с полями, где содержание элемента составляет 5—20 ГФ, имеется около восьми максимумов с содержанием урана, превышающим 50 ГФ. Общая ширина ореола здесь превышает 200 м. Еще выше ореол постепенно ослабевает, количество полей с максимумом содержания снижается до трех, а их размеры заметно уменьшаются. Ширина ореола на поверхности при удалении на 250—270 м от рудных тел примерно сохраняется.

Свинец. Ореол рассеяния свинца вокруг зон «Новых» также имеет весьма сложное строение. В нем отмечается два участка с максимальным содержанием свинца: на уровне верхней части рудных тел и выше, в удалении на 140—180 м от рудных тел. Последний максимум с содержанием свинца свыше 50 ГФ особенно значителен — ширина его достигает 110 м. Общая ширина ореола рассеяния свинца непосредственно над рудными телами достигает 170 м, а в удалении на 140 м от рудных тел — 190 м. На поверхности общий ореол рассеяния свинца имеет несколько «окон», в которых содержание свинца равно геохимическому фону.

Молибден. Ореол рассеяния молибдена вокруг рудных тел зон «Новых» является менее широким и интенсивным, чем ореолы рассеяния урана и свинца. Он распадается на отдельные поля шириной 50—80 м, приуроченные к отдельным рудным телам, которые отделяются друг от друга узкими полями с нормальным фоновым содержанием элемента.

Максимумы ореолов с содержанием молибдена свыше 50 ГФ невелики по размерам, их ширина колеблется в пределах 3—8 м. На поверхности, с удалением на 250—270 м от рудных тел, ореол рассеяния молибдена заметно уменьшается в размерах и интенсивности; если общая ширина этих ореолов в 40 м выше рудных тел составляет 190—200 м, то на поверхности она уменьшается до 100 м.

Изучение ореолов рассеяния зон «Новых» существенно расширяет наши сведения о вертикальной протяженности этих ореолов выше рудных тел, превышающей в данном случае 270 м, а также показывает, что при наличии нескольких сближенных рудоносных зон создаются благоприятные условия для распространения ореолов рассеяния вверх по восстанию рудных тел.

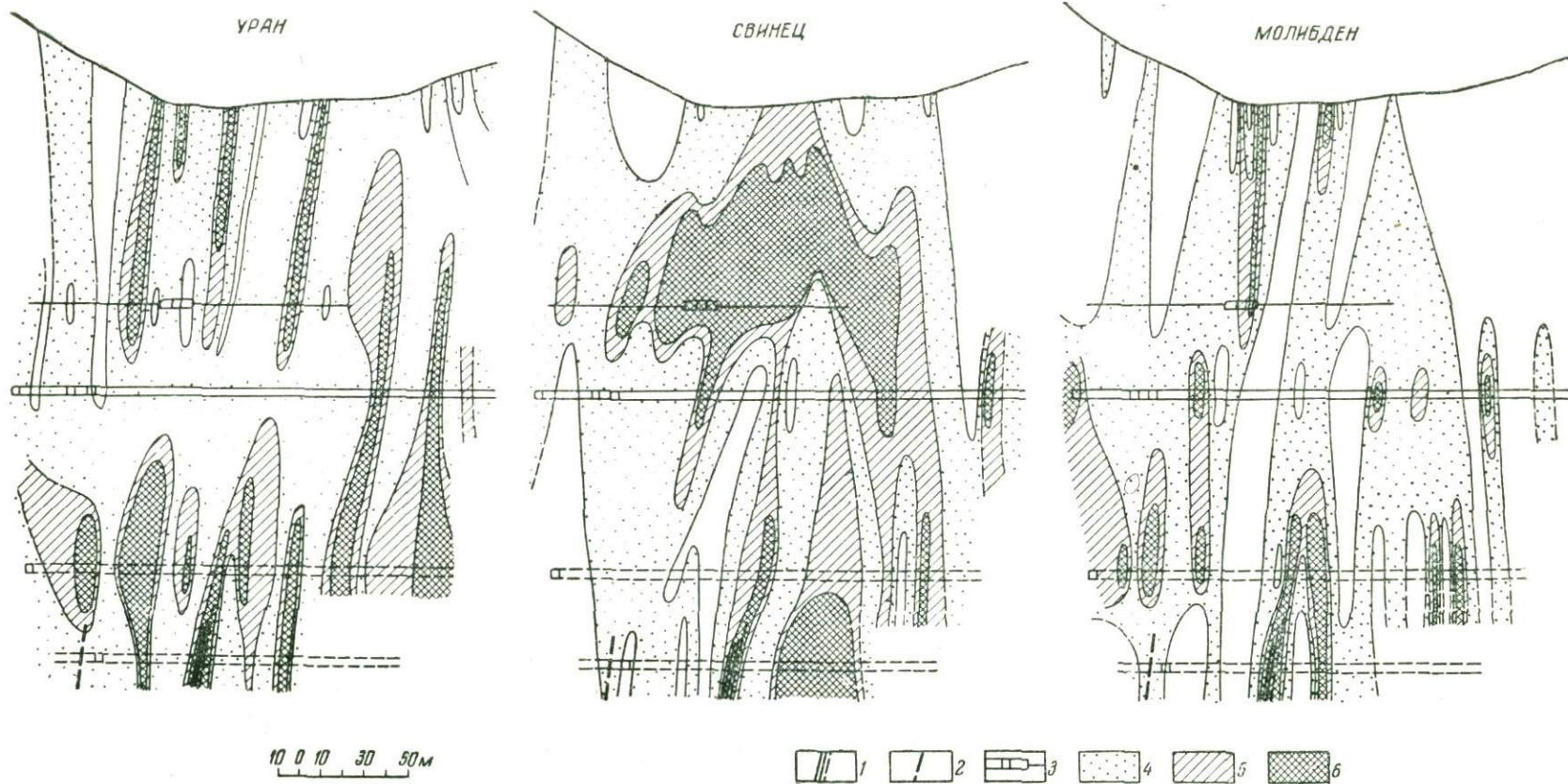


Рис. 22. Разрез ореолов рассеяния элементов над группой урановых рудных тел

1 — рудные тела; 2 — проекции рудных тел на плоскость разреза; 3 — горные выработки и скважины; 4—6 — содержание элементов в ореолах рассеяния (ГФ): от 2 до 20 (4), от 20 до 50 (5), более 50 (6)

Установленное для ореола рассеяния рудного тела зоны Меридиональной зональное строение подтверждается и для ореолов зон «Новых». Здесь интенсивный ореол свинца также занимает наиболее высокое положение относительно рудных тел, а поля рассеяния более высоких концентраций подвижного урана развиваются около рудных тел и непосредственно над ними.

Величины отношений средних содержаний основных элементов-спутников к урану на различных уровнях вертикального разреза ореола рассеяния вокруг рудных тел зон «Новых» показаны в табл. 7.

Таблица 7

Величины отношений средних содержаний основных элементов

Уровень горизонтов опробования	Отношение среднего содержания элементов в величинах, кратных геохимическому фону (ГФ)	
	$\frac{Pb}{U}$	$\frac{Mo}{U}$
Поверхность (270 м выше рудного тела)	0,27	0,12
140 м над рудным телом	3,0	0,16
100 м над рудным телом	3,6	2,2
На уровне рудных тел	0,4	0,7

Из данных, приведенных в табл. 7, следует, что величина отношения содержаний свинца к содержанию подвижного урана в 100—140 м выше рудных тел больше, чем на уровне верхних частей, а на поверхности (в 270 м от рудных тел) она уменьшается. Аналогичное изменение наблюдается и для величин отношения содержания молибдена к урану только с тем отличием, что уменьшение этой величины наблюдается уже на уровне 140 м над рудным телом.

Сравнение этих данных с величинами отношений содержаний элементов-спутников к урану для ореола рудного тела зоны Меридиональной (см. табл. 6) показывает, что на одинаковых уровнях относительно рудных тел (верхние части рудных тел и в 100 м выше их) величины отношений свинца к урану очень близки, а молибдена к урану отличаются, но тенденция их изменения по вертикали сохраняется. Отсюда, а также из данных изучения ореолов рассеяния вокруг других рудных тел месторождения, залегающего в кислых эффузивах следует, что зональное строение ореолов рассеяния, находящее свое отражение в изменении величин отношений средних содержаний элементов-спутников к урану, имеет характер общей закономерности для ореолов рассеяния всех рудных тел месторождения. Уменьшение величины отношения содержаний элементов в приповерхностных частях ореолов зон «Новых», очевидно, обуславливается общим затуханием ореолов на уровне выше 100—140 м от рудных тел. Однако и в этих удаленных от рудных тел участках ореолов величины отношений содержаний свинца и молибдена к урану гораздо выше, чем для подрудных частей ореола рассеяния, как это видно на примере описанного выше рудного тела (см. табл. 6 и 7). Менее четкая зональность ореола рассеяния около рудных тел зон «Новых» по сравнению с ореолом рассеяния рудного тела зоны Меридиональной, по-видимому, связана с тем, что в случае зон «Новых» ореол рассеяния вокруг них представляет собой суммарный, совмещенный ореол нескольких рудных тел.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЗАЛЕГАЮЩЕЕ В ФЕЛЬЗИТАХ

Краткое геологическое описание месторождения

Месторождение приурочено к одной из ветвей веерообразного расщепляющегося крупного регионального разлома. Основными рудовмещающими породами месторождения являются экстрезивные фель-

зит-порфиры и фельзиты, секущие эффузивно-осадочные породы верхнекарбонического возраста. Последние в пределах площади месторождения залегают с размывом на массиве гранодиоритов и образуют брахиантиклиналь. Эта брахиантиклиналь интенсивно нарушена последующими тектоническими подвижками. Все перечисленные выше породы прорваны дайками и мелкими штоками кварцевых порфиров и дайками диабазовых порфиритов.

Четвертичные отложения на площади месторождения имеют незначительное распространение и представлены элювиальными, делювиальными и аллювиальными образованиями. Мощность их незначительна и составляет более 1 м лишь в пониженных частях рельефа.

На фоне слабо выраженных пликативных дислокаций в пределах рудного поля широкое развитие получили различные по масштабу и направлению дизъюнктивные нарушения; наиболее крупными из них являются юго-западная ветвь крупного регионального разлома и Западный разлом.

Западный разлом прослеживается в близмеридиональном направлении на значительном расстоянии. На севере он сочленяется с юго-западной ветвью регионального разлома.

В зоне Западного разлома установлены дайки кварцевых порфиров и фельзитов. По данным горных выработок, этот разлом представляет собой тектоническую зону дробления с глиной трения мощностью 0,1—3,0 м. Вмещающие породы на всем протяжении Западного разлома интенсивно хлоритизированы и серицитизированы. Судя по смещению дайки кварцевых порфиров и горизонтов толщи эффузивно-осадочных пород, в последдайкивое время по разлому происходили сбросо-сдвиговые перемещения с амплитудами перемещений по горизонтали и вертикали в десятки метров.

Западный разлом является основным рудоконтролирующим нарушением месторождения, и к нему тяготеют все известные на месторождении промышленные урановые рудные тела; они локализуются как в висячем, так и в лежащем боках разлома, в местах наибольшей трещиноватости пород.

Форма рудных тел линзообразная и столбообразная. Вертикальная и горизонтальная протяженность их намного превышает мощность. Падают они, как и разлом, на восток под углами 70—80°. Рудные тела представляют собой участки интенсивно трещиноватых пород, в пределах которых многочисленны различные по размерам и направлению трещины, выполненные прожилками смолково-черневого состава.

На месторождении выделены четыре стадии гидротермального минералообразования:

- 1) кварц-пирит-серицитовая;
- 2) кварц-карбонат-баритовая;
- 3) смолково-сульфидная;
- 4) кварц-карбонатная.

Кварц-серицитовые зоны с богатой вкрапленностью пирита пространственно разобщены с жилами и прожилками других стадий минералообразования, и возрастные взаимоотношения этих зон выяснены только с кварц-карбонатными прожилками, отчетливо секущими их. Мощность кварц-серицитовых зон колеблется от первых миллиметров до нескольких сантиметров, а протяженность, как правило, составляет первые метры.

Прожилки кварц-карбонат-баритового состава имеют крайне ограниченное распространение. Кроме барита, кварца и карбоната (анкерит), других минералов в этих прожилках не установлено.

Наибольшим распространением на месторождении пользуются жилы и прожилки смолково-сульфидной стадии минералообразования. В прожилках этой стадии, кроме урановой смолки и черней, обнару-

жены молибденит, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, а из жильных в небольших количествах — кварц, серицит, анкерит. Микроскопическое изучение шлифов позволяет выделить следующий ряд последовательности образования этих минералов: пирит—молибденит—урановая смолка — галенит — сфалерит — халькопирит — кварц — серицит—анкерит.

Жилы и прожилки кварц-карбонатного состава являются наиболее поздними. Они пересекают прожилки смолково-сульфидного состава. В составе прожилков, кроме основных минералов кварца и карбоната (кальцит и анкерит), иногда в небольших количествах встречаются пирит, халькопирит, галенит, сфалерит.

Смолково-сульфидная стадия примечательна еще и тем, что в составе жил и прожилков этой стадии рудные минералы (урановая смолка, черни и сульфиды) преобладают над жильными, по времени образования более поздними, тогда как прожилки остальных стадий минералообразования почти сплошь сложены жильными минералами, такими как кварц, кальцит, анкерит, серицит, барит.

Характерными типами гидротермального изменения вмещающих рудные тела фельзит-порфиров и фельзитов является серицитизация, пиритизация, хлоритизация, покраснение. Причем, если первые три типа изменений устанавливаются как вокруг урановых рудных тел, так и вдоль удаленных от них тектонических нарушений, то покраснение пород наблюдается исключительно в местах проявления урановой минерализации, и его тесная связь с урановыми рудными телами не вызывает сомнений.

Зона окисления на месторождении развита слабо. В подземных выработках продукты окисления гипогенных минералов обнаруживаются только в зонах сравнительно крупных тектонических нарушений.

Из гипергенных минералов урана на месторождении установлены урановые черни, уранофан. Весьма редко встречаются также торбернит, скупит, кюрит, беккерелит. Окисленные руды на месторождении имеют резко подчиненное значение.

Описание ореолов рассеяния

Эндогенные ореолы рассеяния элементов в рудном поле месторождения Западного разлома изучались как вокруг скрытых, так и выходящих на поверхность рудных тел. Для этого опробовались горные выработки, кери буровых скважин, а на поверхности проводилось детальное площадное опробование корешных пород.

Наиболее полно ореолы рассеяния элементов нами прослежены вокруг одного из скрытых рудных тел месторождения, залегающего на глубине более 100 м. Разрез через это рудное тело приведен на рис. 23.

Геохимическое опробование показало, что вокруг рудных тел ореолы рассеяния образуют уран, молибден, свинец, ванадий и медь.

Ореолы рассеяния остальных элементов вокруг рудных тел или отсутствуют (цирконий, марганец, титан, хром, барий, олово, бериллий, кобальт, никель), или же, возможно, существуют, но не оконтуриваются из-за недостаточной чувствительности анализа на эти элементы (мышьяк, висмут, сурьма, серебро, ртуть).

Ниже приводится описание ореолов рассеяния урана, молибдена, свинца, ванадия и меди вокруг скрытого рудного тела. Геохимический фон этих элементов определялся описанным выше методом. Величина геохимического фона урана равна 0,0004% (так как в отличие от описанных выше урановых месторождений, залегающих в кислых эффузивах и гранитах, в этих пробах определялось полное содержание урана), молибдена — следы, свинца 0,003%, ванадия — следы и меди 0,001%.

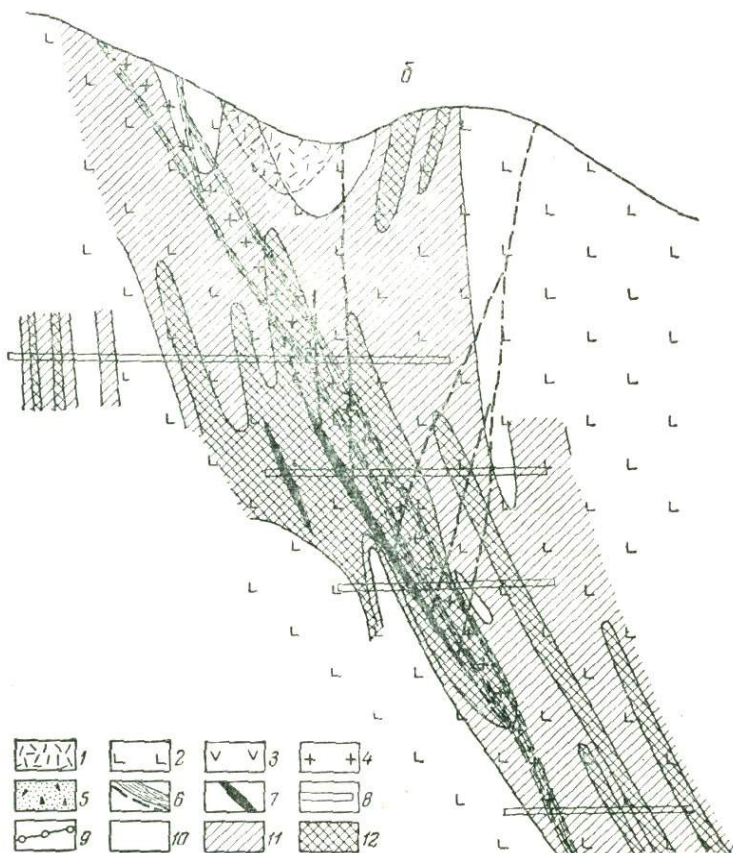
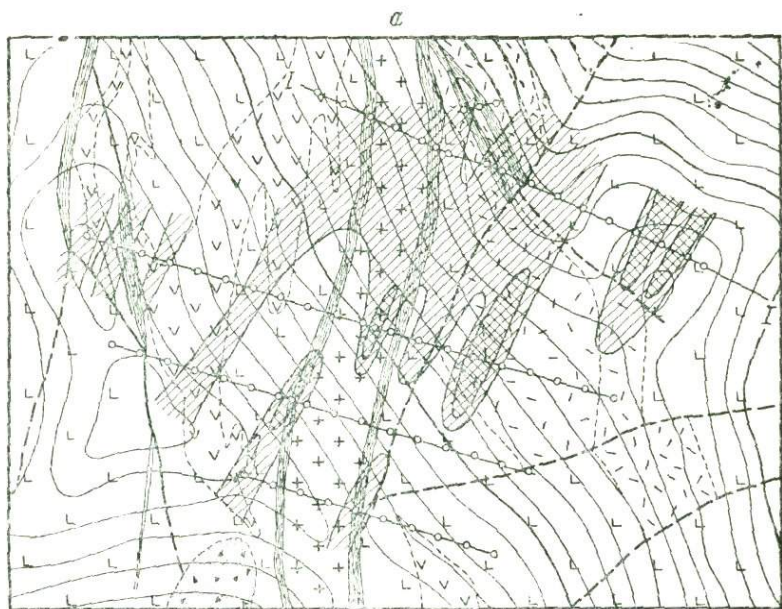


Рис. 23. Ореолы рассеяния урана на поверхности (а) и в разрезе (б)

1 — туфы; 2 — фельзит-порфиры; 3 — фельзиты; 4 — кварцевые порфиры; 5 — рыхлые отложения мощностью более 3 м; 6 — тектонические нарушения; 7 — рудное тело; 8 — горные выработки; 9 — профили опробования; 10—12 — содержание элементов (ГФ): менее 3 (10), от 3 до 10 (11), более 10 (12)

Масштаб указан на рис. 26

Уран. Уран образует наиболее широкий и протяженный ореол рассеяния (см. рис. 23). Ширина ореола является максимальной на поверхности и с глубиной постепенно, хотя и незначительно уменьшается. На уровне рудных тел она составляет 80—100 м. Ореол рассеяния урана по вертикали прослежен примерно на 300 м. Однако на поверхности и на уровне самого нижнего горизонта ореол рассеяния урана является все еще достаточно интенсивным, что позволяет считать, что вертикальная протяженность ореола рассеяния урана превышает 300 м.

На поверхности более чем в 100 м выше рудного тела и непосредственно над ним детальным металлометрическим опробованием коренных пород сконтуриен достаточно широкий и интенсивный ореол рассеяния урана. Как следует из рис. 23,а, поля ореола рассеяния урана вытянуты в северо-восточном направлении параллельно простиранию самого рудного тела. Концентрация урана в ореоле рассеяния, выявленном на поверхности, в основном находится в пределах от 3 до 10 ГФ и лишь в отдельных пробах превышает 10 ГФ. Эти поля высоких концентраций приурочены к участкам пород с повышенной трещиноватостью. По размерам они невелики и выклиниваются между соседними профилями.

Для выяснения особенностей распределения элементов, в том числе и урана, вокруг рудных тел нами определялись их средние содержания на каждом сечении ореолов рассеяния. Эти определения показывают, что содержание урана в ореоле рассеяния является максимальным на уровне рудных тел, на IV (12 ГФ) и V (10 ГФ) горизонтах (см. рис. 23) и постепенно уменьшается вверх и вниз от рудного тела. На поверхности, в 110 м выше верхней части рудного тела, среднее содержание урана составляет 4 ГФ, а на VII горизонте, в 60 м от нижней части границы рудного тела, 7 ГФ. Приведенные цифры показывают, что градиент среднего содержания урана в ореоле рассеяния вверх и вниз от рудного тела примерно одинаков.

Молибден. Молибден, как и уран, вокруг рудных тел образует отчетливо выраженный ореол рассеяния. Ширина его максимальна на поверхности над рудным телом (90 м) и сокращается с глубиной (рис. 24). На уровне рудного тела она составляет примерно 60 м, а на расстоянии 60 м от нижней границы рудного тела не превышает 15—20 м. Содержание молибдена в ореоле рассеяния колеблется от 1 до 100 ГФ. Наиболее часто встречаются концентрации молибдена от 2 до 10 ГФ.

На поверхности выявлен значительный по размерам ореол рассеяния молибдена, пространственно совпадающий с ореолом рассеяния урана, в общем повторяя его контуры. Здесь содержание молибдена только в двух пробах превышает 10 ГФ.

Максимальные концентрации молибдена, аналогично урану устанавливаются на уровне рудного тела, где среднее содержание молибдена превышает 10 ГФ. По мере удаления от рудного тела вверх и вниз содержание молибдена в ореоле рассеяния уменьшается, однако градиент среднего содержания молибдена вниз больше. Так, на поверхности оно составляет 3 ГФ; столько же на самом нижнем горизонте, всего в 60 м от нижней границы рудного тела. В общем, как вверх, так и вниз от рудного тела градиент убывания содержания молибдена по сравнению с ураном заметно больше.

Свинец. Свинец образует наиболее интенсивный ореол рассеяния вокруг рудных тел. Ширина ореола рассеяния свинца с глубиной сокращается от 80—100 м (на поверхности и I горизонте) до 5—10 м на самом нижнем горизонте (рис. 25).

На поверхности над скрытым рудным телом выявлен интенсивный ореол рассеяния свинца (см. рис. 25), где в большинстве проб содержание его превышает 10 ГФ. Это позволяет считать, что протяженность

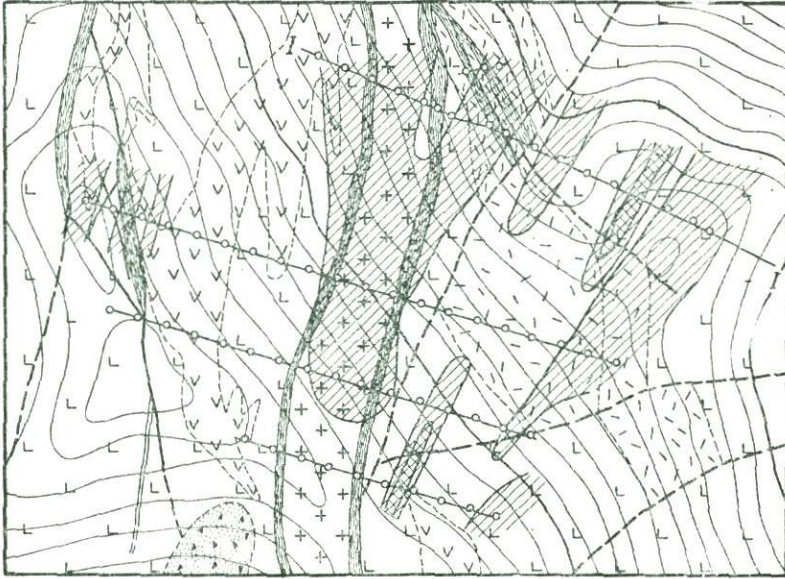
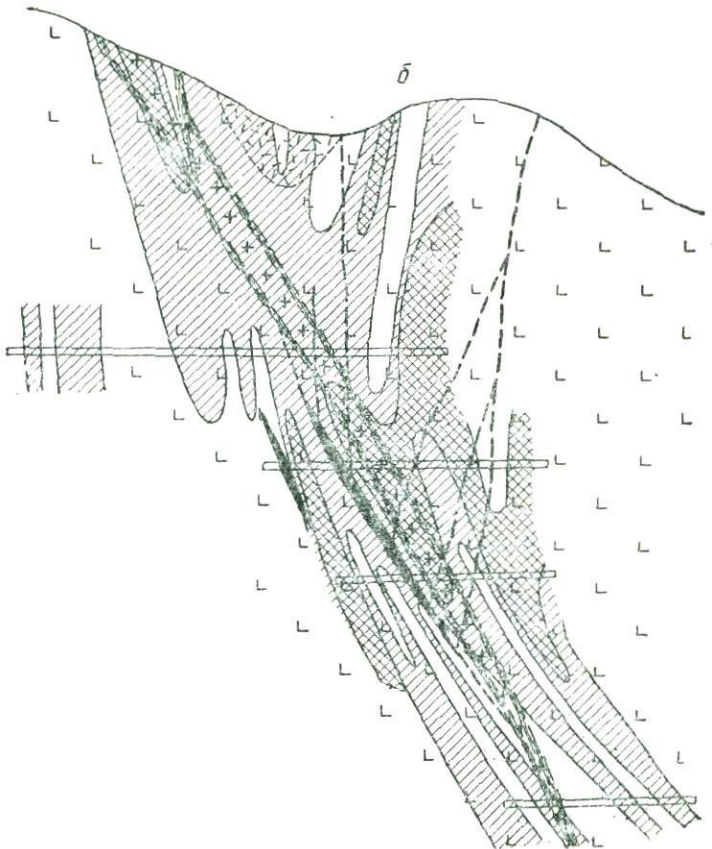
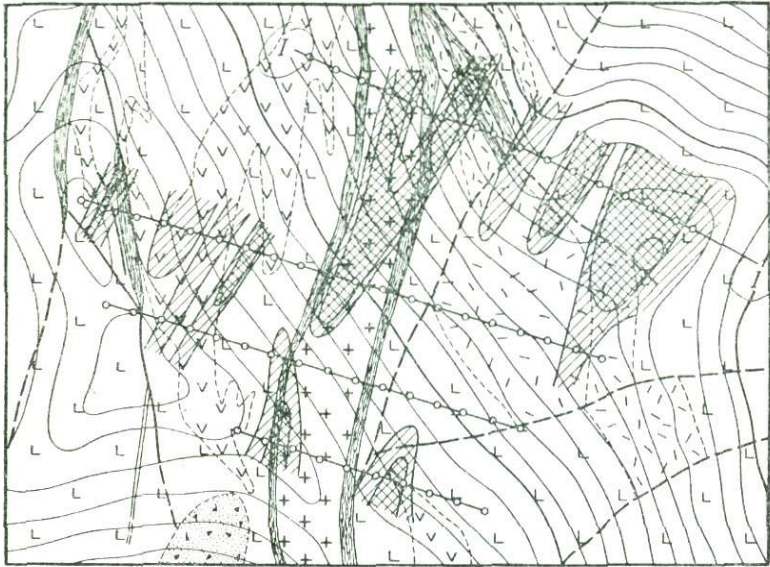
a*б*

Рис. 24. Ореолы молибдена на поверхности (а) и в разрезе (б).
Условные обозначения см. на рис. 23

a



б

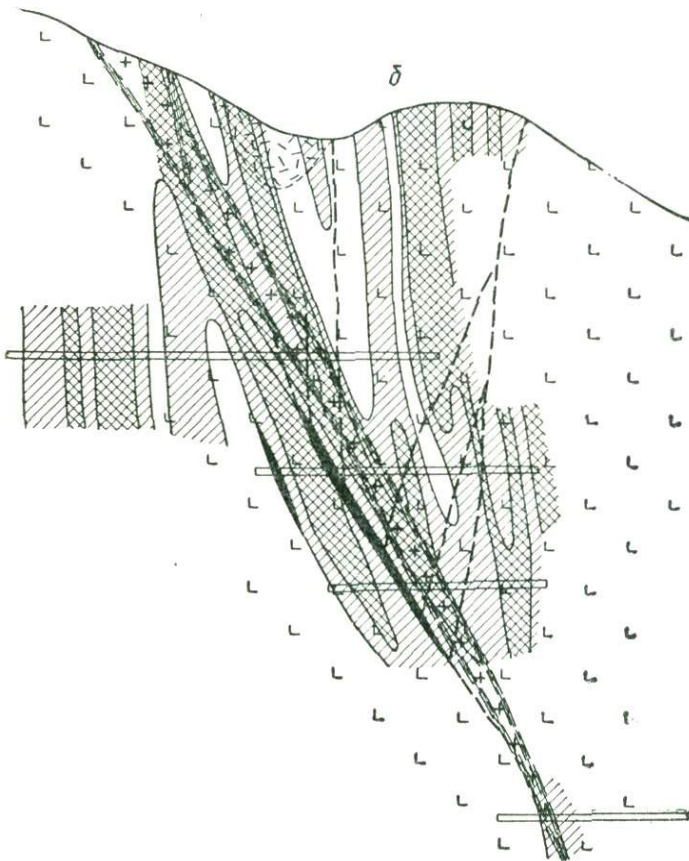


Рис. 25. Ореолы рассеяния свинца на поверхности (а) и в разрезе (б).
Условные обозначения см. на рис. 23

ореола рассеяния свинца над рудным телом превышает протяженность ореолов рассеяния урана и молибдена; нами прослежена только часть его, так как верхние части ореола рассеяния свинца, как и урана и молибдена, уничтожены эрозионными процессами.

В отличие от урана и молибдена максимальные концентрации свинца устанавливаются в верхней части рудных тел и особенно над ними. На поверхности среднее содержание свинца максимально и составляет 17 ГФ, непосредственно над рудным телом — 7 ГФ, тогда как на уровне рудного тела оно составляет всего 8 и 5 ГФ. Ниже руд-

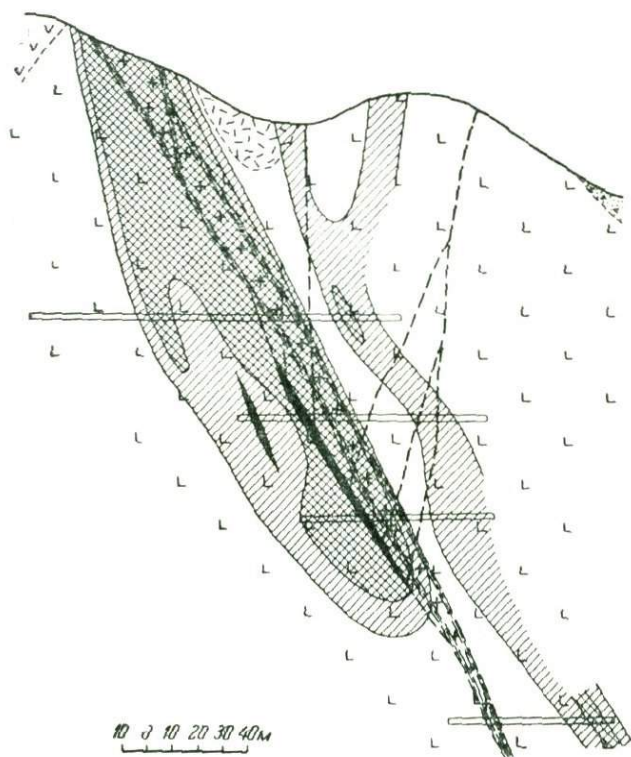


Рис. 26. Ореолы рассеяния ванадия в разрезе. Условные обозначения см. на рис. 23

ных тел ореол рассеяния свинца практически отсутствует. На этом горизонте всего в двух пробах содержание свинца превышает геохимический фон и среднее его содержание составляет всего 0,9 ГФ.

Ванадий. Ванадий обнаруживается в большинстве проб, взятых по разрезу вокруг скрытого рудного тела. Как видно из рис. 26, отчетливо выделяются два вытянутых параллельно рудному разлому поля ореола рассеяния ванадия. Первое — наиболее крупное и интенсивное шириной 50—60 м, прослеживается вдоль самого разлома. В его пределах находятся рудные тела. Вертикальная протяженность этого поля более 250 м. Второе поле разобщено от первого и в его пределах урановых рудных тел не обнаружено. Последнее по интенсивности слабее первого.

Концентрация ванадия во втором поле с глубиной растет, а в первом, наоборот, убывает. Ниже рудных тел (первое поле) ореол рассеяния ванадия отсутствует.

Концентрация ванадия в ореоле рассеяния колеблется от 2 ГФ до сотен. Наиболее часто встречаются концентрации от 2 до 20 ГФ.

Медь. Вокруг рудных тел этого месторождения выявляется слабый ореол рассеяния меди (рис. 27). Содержание меди даже в рудных телах не превышает 3—5 ГФ, что свидетельствует о незначительном

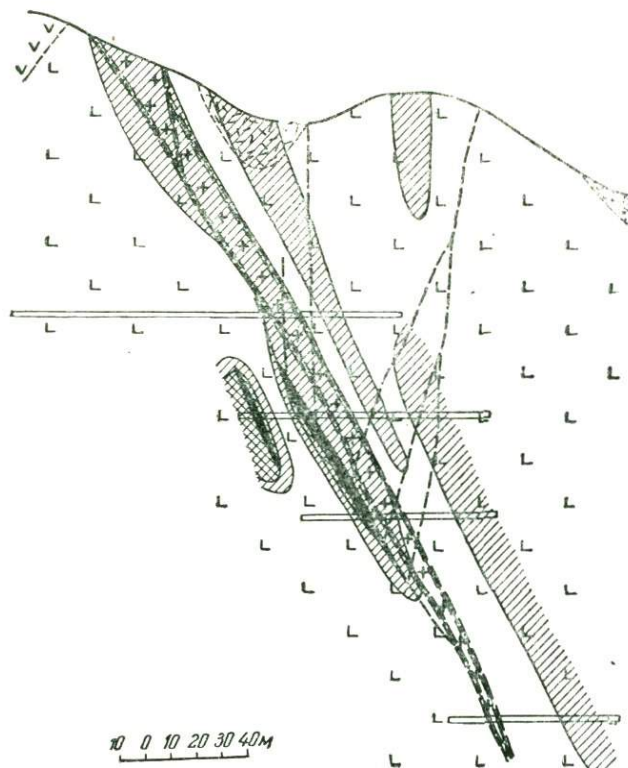


Рис. 27. Ореолы рассеяния меди в разрезе. Условные обозначения см. на рис. 23

привнесено рудоносными растворами меди, чем, по-видимому, и объясняются незначительные размеры ореола ее рассеяния.

* *
*

Приведенные выше данные показывают, что наиболее широкие и интенсивные ореолы вокруг рудных тел образуют уран, молибден, свинец и ванадий. Связь ореола рассеяния ванадия с рудными телами не совсем ясна, и поэтому основными элементами-индикаторами рудных тел следует считать уран, свинец и молибден, образующие вокруг рудных тел наиболее значительные по размерам и интенсивности ореолы рассеяния.

Как уже указывалось, концентрации урана, молибдена и свинца вокруг рудных тел распределяются по-разному, что обуславливает зональное строение ореолов рассеяния различных химических элементов, развитых вокруг рудных тел. Сущность этой зональности заключается в том, что выше рудных тел развиваются интенсивные ореолы рассеяния урана, молибдена и в особенности свинца, тогда как ниже рудных тел интенсивно проявлен только ореол урана, ореол молибдена проявлен гораздо слабее, а ореол свинца практически отсутствует. Количественным выражением этих соотношений является величина отношения средних содержаний свинца и молибдена к среднему содер-

жанию урана. На рис. 28 графически изображено изменение величин этих отношений с глубиной. Величина отношения среднего содержания свинца к среднему содержанию урана является максимальной на поверхности (4,25) и минимальной ниже рудных тел (0,12), т. е. сверху вниз уменьшается примерно в 40 раз. Отношение среднего содержания молибдена к среднему содержанию урана сверху вниз уменьшается всего лишь в 2 раза. Очевидно, что по величине этих соотношений и

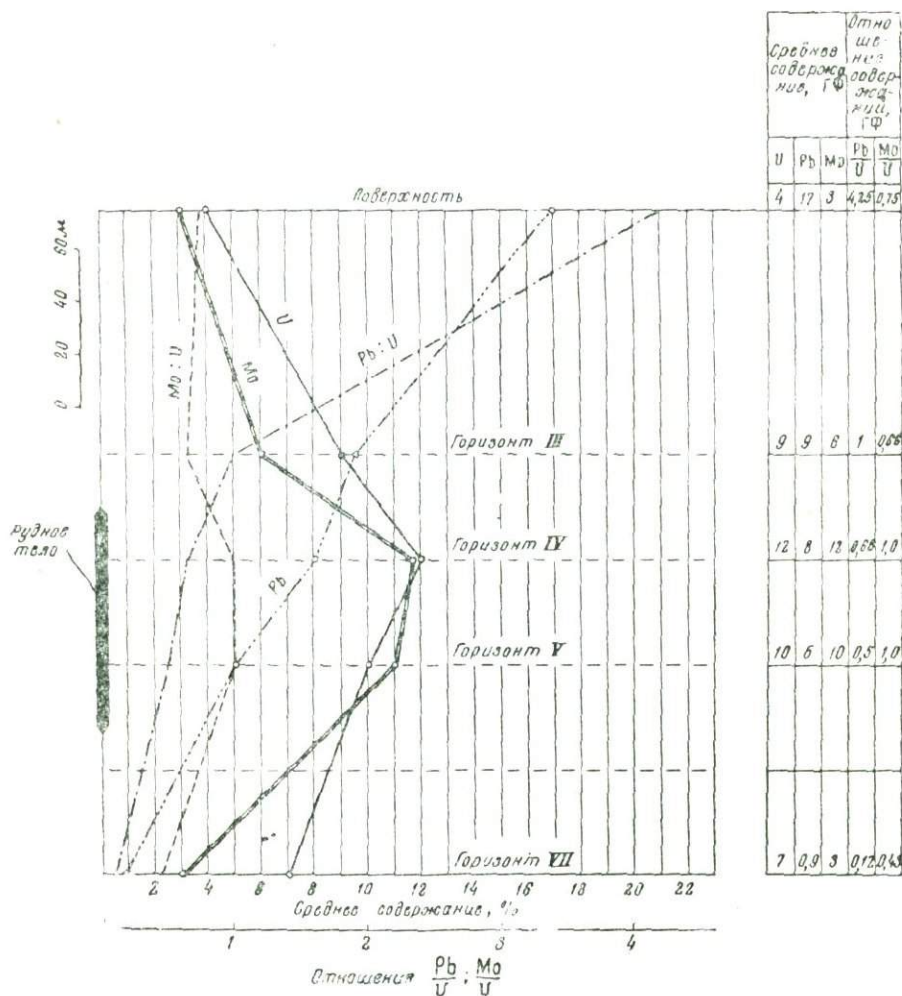


Рис. 28. Графики изменения средних содержаний элементов в ореолах рассеяния с глубиной

прежде всего отношения среднего содержания свинца к среднему содержанию урана можно определить, выше или ниже рудных тел располагаются те или иные разрезы полей ореолов рассеяния химических элементов, выявленные в результате геохимического опробования.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЗАЛЕГЛЮЩЕЕ В ГРАНИТАХ

Краткое геологическое описание месторождения

Месторождение приурочено к юго-восточному окончанию регионального разлома, который на площади рудного поля месторождения расщепляется на ряд ветвей.

Вмещающими рудные тела породами являются граниты поздневарисийского возраста и их жильные аналоги.

На месторождении установлено два этапа минерализации:

- 1) грейзеновый этап, приведший к образованию многочисленных зон грейзенизации гранитов северо-западного простирания;
- 2) гидротермальный этап, в течение которого сформировались урановые рудные тела.

В пределах рудного поля известен ряд зон грейзенизации как вскрытых современной эрозионной поверхностью, так и не выходящих на поверхность (скрытых). Простирание всех известных зон северо-западное (примерно 300°); протяженность их различна и в среднем составляет первые сотни метров при мощности от первых метров до десятков метров. Каждая из зон представлена серией многочисленных сближенных грейзеновых полос северо-западного простирания. Отдельная грейзеновая полоса представляет собой крутопадающую трещину с грейзеновыми оторочками кварц-мусковитового и кварц-топазового состава. Падают эти трещины на северо-восток под углами $70-80^{\circ}$. Мощность таких грейзеновых оторочек, как правило, незначительна и редко превышает первые сантиметры. В пределах зон отдельные грейзеновые полосы располагаются кулисообразно как в плане, так и в разрезе. Расстояние между соседними полосами обычно составляет от десятков сантиметров до первых метров. В отдельных случаях грейзеновые оторочки, развиваясь по сближенным трещинам, сливаются, образуя тем самым зоны сплошной грейзенизации.

В позднем гидротермальном этапе выделяются две стадии минералообразования:

- 1) кварц-карбонатно-сульфидная;
- 2) флюорит-смолквая.

Жилы и прожилки кварц-карбонатно-сульфидной стадии пользуются незначительным распространением. Сложены они в основном жильными минералами: кварц, кальцит, флюорит, диксит, барит, альбит, анкерит, хлорит. Из рудных минералов в незначительных количествах установлены галенит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда, гематит. Мощность этих жил колеблется от первых миллиметров до 3—5 см, протяженность редко превышает первые метры. Характерно, что жилы и прожилки не сопровождаются интенсивным изменением вмещающих пород.

Прожилки флюорит-смолквой стадии пересекают зоны грейзенизации и жилы кварц-карбонатно-сульфидной стадии. Чаще всего они залегают в пределах зон грейзенизации, располагаются вкрест их простирания и реже вдоль них и под острыми углами к ним. Прожилки со смолкой встречаются также за пределами зон грейзенизации. Мощность этих прожилков колеблется в пределах первых миллиметров, реже первых сантиметров. Прожилки представляют собой брекчию вмещающей породы, сцементированную урановой смолкой, флюоритом и другими минералами. Кроме основных минералов флюорит-смолквой стадии — урановой смолки, черной, флюорита, в прожилках в незначительных количествах содержатся пирит, марказит, гематит, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит. Урановые минералы встречаются в них как самостоятельно, так и совместно с перечисленными выше сульфидами (смолково-сульфидная ассоциация) и флюоритом (смолково-флюоритовая ассоциация). Эти ассоциации урановой смолки генетически тесно связаны и встречаются в одних и тех же трещинных зонах.

Урановые рудные тела сложены многочисленными разноориентированными мелкими смолково-флюоритовыми прожилками, образующими густой штокверк. По форме рудные тела представляют собой вытянутые по простиранию и падению линзы, длинная ось которых совпадает

с простираем самих зон грейзенизации. Урановые рудные тела падают на северо-восток согласно с зонами грейзенизации.

Зона окисления на месторождении проникает на глубину только по сравнительно крупным нарушениям. Так, в слаботрещинчатых породах непосредственно на поверхности обнаруживаются кристаллы неокисленного пирита.

Описание ореолов рассеяния

Все рудные тела, ореолы рассеяния которых нами изучались, залегают в пределах зон грейзенизации. Геохимическое опробование показало, что вокруг рудных тел в повышенных по сравнению с фоновым количествах обнаруживаются уран, свинец, молибден, медь, цинк, серебро. Из них отчетливые ореолы рассеяния вокруг рудных тел образуют уран, свинец, молибден, медь и цинк. Недостаточная чувствительность спектрального анализа на серебро и ртуть (более 5 кларков) не позволяет очертить ореолы их рассеяния. Однако можно с уверенностью сказать, что ореолы рассеяния этих элементов будут весьма слабыми, иначе при такой чувствительности выявились бы поля ореола рассеяния с содержанием элементов, превышающим 5 ГФ, что на самом деле не имеет места.

Как уже указывалось выше, рудные тела и зоны грейзенизации пространственно совпадают, что создает дополнительные трудности при расшифровке и оценке выявленных ореолов рассеяния, так как неясно, связаны ли выявленные ореолы рассеяния только с рудными телами, или же рассеяние этих металлов происходило также при грейзенизации гранитов. Очевидно, что в случае существования ореолов рассеяния типоморфных для руд элементов вокруг грейзеновых зон мы имели бы дело со смешанными ореолами рассеяния, по которым вряд ли удалось бы вести эффективные поиски рудных тел. Поэтому нами прежде всего проводились детальные исследования рассеяния химических элементов в связи с процессом грейзенизации. С этой целью грейзеновые полосы и вмещающие их граниты детально опробовались по профилям, ориентированным вкострости простирающихся грейзеновых полос, и отобранные пробы анализировались на элементы, перечисленные в табл. 2. Таким образом, опробовались грейзеновые зоны как содержащие урановые рудные тела, так и зоны, в пределах которых проявления урановой стадии минералообразования не установлены.

На рис. 29 приведены графики распределения элементов, построенные по результатам опробования грейзеновых зон. Приводятся графики содержания урана, свинца, молибдена, меди, цинка — элементов, образующих вокруг урановых рудных тел ореолы рассеяния. На рис. 29, а приведены результаты опробования грейзеновых полос в пределах зоны, не содержащей урановые рудные тела. Как следует из этих графиков, изменение содержания элементов находится в пределах колебаний их фоновых содержаний, и закономерной связи с грейзеновыми полосами они не проявляют. На этом же рисунке (см. рис. 29, б, в) приводятся графики опробования грейзеновой зоны, содержащей урановые рудные тела.

Графики на рис. 29 изображают распределение элементов в удалении от рудных тел, но в пределах их ореолов рассеяния. Эти графики показывают, что концентрации перечисленных выше элементов, не превышая фоновые значения, колеблются в значительных пределах; эти колебания концентраций закономерной связи с грейзеновыми полосами также не обнаруживают.

Иначе обстоит дело с рудными телами. Как следует из приведенных графиков распределения элементов и зарисовки стенки выработки, вскрывающей грейзеновую зону и урановое рудное тело, высокие кон-

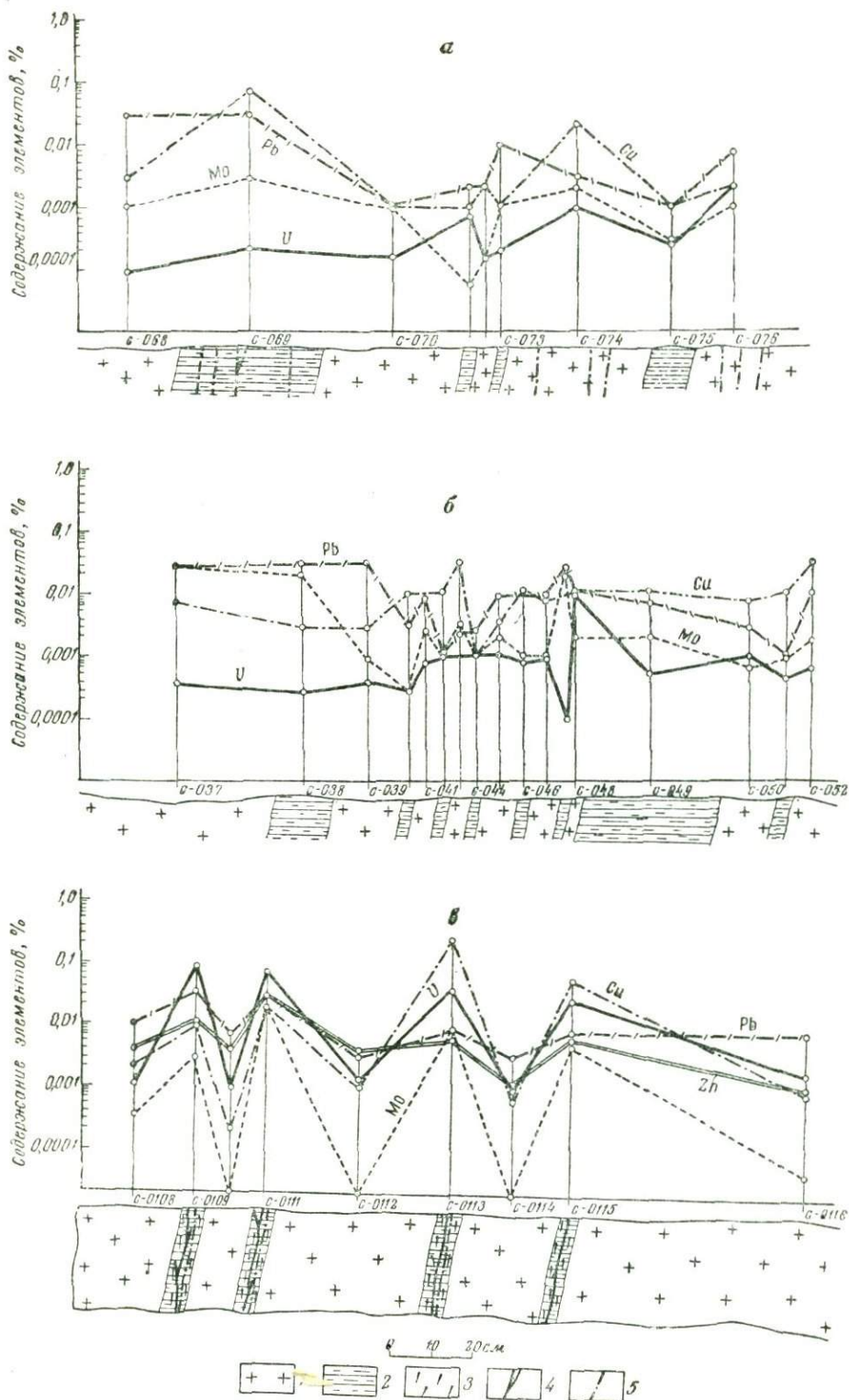
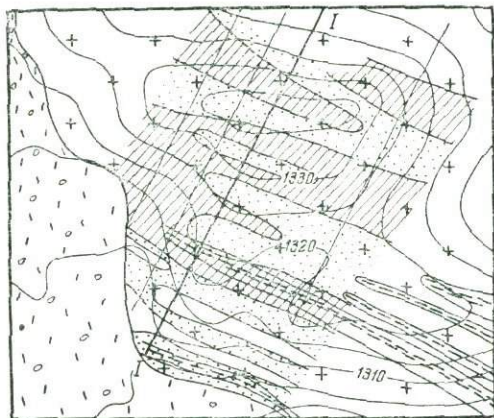


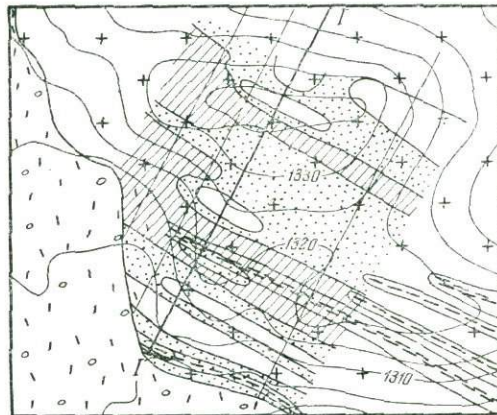
Рис. 29. Графики распределения элементов вокруг грейзеновых зон в трех различных участках (а, б и в)

1 — лейкократовые граниты; 2 — грейзенизация гранитов; 3 — мелкая трещиноватость; 4 — прожилки с урановой смолкой и чернями; 5 — трещины; цифры под графиками — номера проб

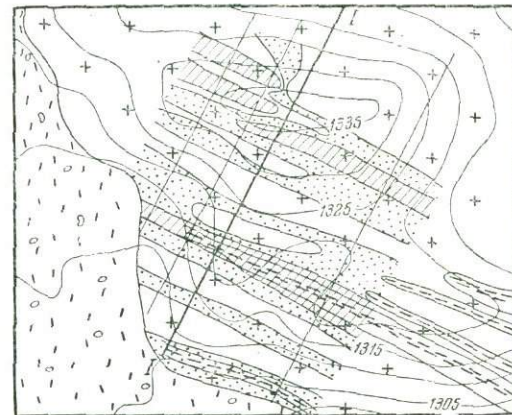
УРАИ



СВИНЕЦ

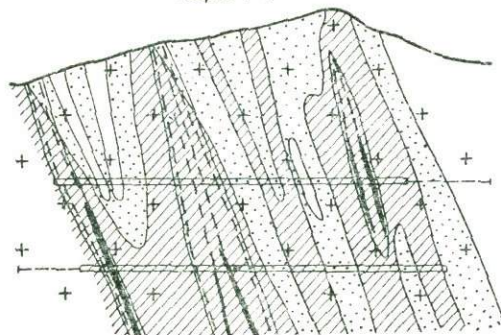


МОЛИБДЕН

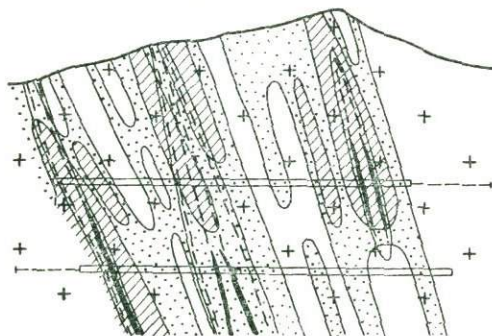


б

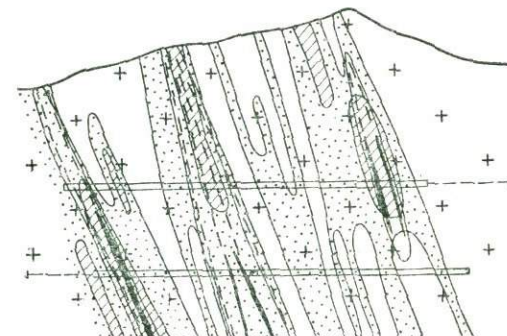
Разрез I-I



Разрез I-I



Разрез I-I



20 0 20 40 60 М

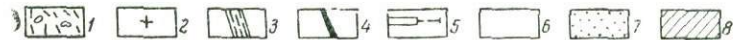


Рис. 30. Ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена вокруг урановых рудных тел на поверхности (а) и в разрезе (б)
1 — аллювиальные отложения; 2 — лейкократовые граниты; 3 — зоны грейзенизации; 4 — рудные тела; 5 — горные выработки и скважины; 6—8 — содержащие эле-
ментов (ГФ): менее 3 (6), от 3 до 10 (7), более 10 (8)

центрации урана, свинца, молибдена и меди устанавливаются в грейзеновых полосах, содержащих прожилки с урановыми минералами (см. рис. 29, в).

Кроме перечисленных элементов, в пробах из грейзеновых полос с урановым оруденением в сотых долях процента обнаружен также цинк (см. рис. 29, в), не установленный в пробах, отобранных по профилю, удаленному от рудных грейзенов (см. рис. 29, а, б).

Приведенный материал показывает, что процесс грейзенизации не сопровождался привнесом и рассеиванием урана, свинца, молибдена, меди, цинка, появление которых в ореоле рассеяния вокруг урановых рудных тел месторождения Восточного разлома является результатом воздействия ураноносных гидротермальных растворов как на грейзенизированные, так и неизмененные вмещающие породы. Это позволяет проводить поиски скрытых рудных тел по ореолам рассеяния химических элементов.

Ниже приводится описание ореолов рассеяния около урановых рудных тел. На рис. 30 приведены ореолы рассеяния элементов, выявленные на поверхности и в разрезе, по данным опробования коренных пород в подземных выработках и керна скважин. Как следует из этих данных, урановые рудные тела, локализующиеся в пределах грейзеновых зон, характеризуются обособленными ореолами рассеяния, которые прослеживаются над рудными телами примерно на 100 м. На поверхности ореолы рассеяния этих элементов являются достаточно интенсивными. Это указывает на то, что протяженность этих ореолов над рудными телами больше 100 м, и на рис. 30 изображена неполная протяженность ореолов рассеяния, так как их верхние части смыты эрозией.

Отчетливо проявлен структурный контроль образования ореолов рассеяния. Все они повторяют контуры вмещающих рудные тела грейзеновых зон, превышая их по размерам.

Уран. Наиболее протяженным и широким является ореол рассеяния урана (подвижного). В 100 м выше верхних границ рудных тел, на поверхности, ореол рассеяния урана является весьма интенсивным, и поля с концентрациями урана более 10 ГФ (1 ГФ = 0,00005% подвижного урана) значительны по размерам (см. рис. 30, средние рудные тела). Так же интенсивно развивается ореол рассеяния урана ниже рудных тел (см. рис. 30, б, рудные тела справа). Широкие ореолы рассеяния, развитые вокруг рудных тел отдельных грейзеновых зон, образуют единый ореол рассеяния вокруг группы сближенных рудных тел, располагающихся в грейзеновых зонах с отчетливыми полями максимальных концентраций урана вокруг рудных тел каждой из зон. Поля максимальных концентраций, как и ореолы в целом, вытягиваются по рудным телам и грейзеновым зонам, заметно превышая последние по размерам. На поверхности приведенные на разрезах скрытые рудные тела фиксируются достаточно широкими полями высоких концентраций урана (более 10 ГФ), вытянутыми в северо-западном направлении аналогично простирацию грейзеновых зон и рудных тел. Высокими концентрациями на поверхности фиксируются не только грейзеновые зоны, выходящие на поверхность и содержащие скрытые урановые тела (см. рис. 30, средняя грейзеновая зона), но и скрытые грейзеновые зоны со скрытыми рудными телами (крайняя правая зона).

Распределение урана в ореолах рассеяния крайне неравномерное (коэффициент вариации превышает 300%).

Свинец. Свинец также образует широкий и выдержанный ореол вокруг рудных тел (см. рис. 30). В отличие от урана он имеет вокруг отдельных рудных тел более или менее обособленные ореолы рассеяния, ширина которых составляет 40—60 м.

На поверхности над скрытыми рудными телами также выявлены интенсивные ореолы рассеяния свинца со значительными полями, кон-

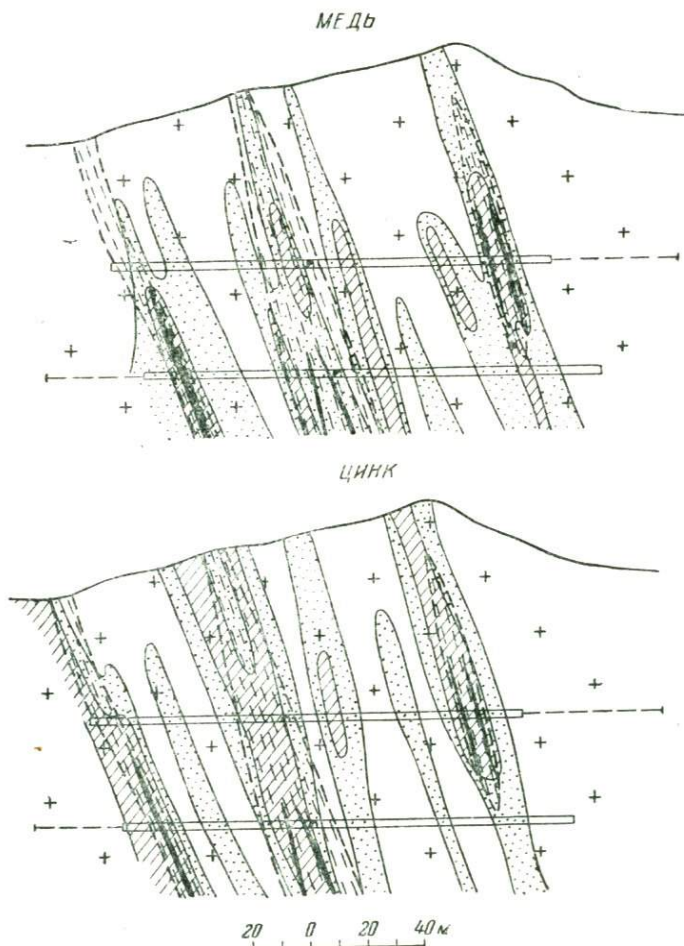


Рис. 31. Ореолы рассеяния меди и цинка в разрезе. Условные обозначения см. на рис. 23

центрация свинца в которых превышает 10 ГФ (геохимический фон свинца 0,003%). Эти поля пространственно совпадают с аналогичными полями ореолов рассеяния урана. Отличительной особенностью ореола рассеяния свинца по сравнению с урановым является развитие более интенсивных ореолов над рудными телами и их выклинивание ниже рудных тел (см. рис. 30, б). Поля высоких концентраций с содержанием свинца более 10 ГФ в виде линз, вытянутых по восстанию рудных тел и грейзеновых зон, своими нижними частями охватывают рудные тела или же только их верхние части. В ряде случаев эти поля располагаются только выше рудных тел (см. рис. 30, б, средние рудные тела). Распределение свинца в ореолах рассеяния весьма неравномерное (коэффициент вариаций более 200%).

Молибден. На рис. 30, б отчетливо выделяются три поля ореола рассеяния молибдена, каждый из которых развит вокруг рудных тел и вмещающих их грейзеновых зон. Ширина этих полей составляет 30—50 м (геохимический фон молибдена 0,0003 %).

Как следует из рис. 30, ореол рассеяния молибдена как по размерам, так и по интенсивности уступает ореолам рассеяния свинца и особенно урана. Ореол рассеяния молибдена, подобно свинцовому, является наиболее интенсивным на уровне и выше рудных тел. Нередко максимальные концентрации молибдена в ореолах рассеяния устанавливаются только над рудными телами (см. рис. 30, б, средние рудные тела). Ниже рудных тел ореол рассеяния молибдена резко ослабевает, и аномальные содержания молибдена обнаруживаются лишь в единичных пробах (см. рис. 30, б, рудные тела справа). На поверхности над скрытыми рудными телами ореол рассеяния молибдена также представляет вытянутые в северо-западном направлении параллельные полосы шириной 30—40 м, в пространстве совпадающие с ореолами рассеяния урана и свинца. Каждая из этих полос фиксирует на поверхности одну из рудовмещающих грейзеновых зон как выходящих на поверхность (две юго-западные полосы), так и скрытых (крайняя северо-восточная полоса). Распределение молибдена в ореолах рассеяния крайне неравномерное (коэффициент вариации превышает 300 %).

Цинк и медь. Из рис. 31 видно, что вокруг рудных тел выявляются слабые ореолы рассеяния цинка и меди. Ширина их не превышает 20—30 м, а концентрация — 5 ГФ (1 ГФ цинка — 0,005 %, меди — 0,003 %). Только в отдельных пробах, отобранных из рудных тел, содержание цинка и меди превышает 10 ГФ. Вверх по восстанию рудных тел и грейзеновых зон ореол рассеяния этих элементов быстро выклинивается, и уже на поверхности только в нескольких пробах содержание их превышает фоновое.

Из вышеизложенного следует, что наиболее ценными индикаторами рудных тел являются уран, свинец и молибден, образующие наиболее протяженные и широкие ореолы рассеяния вокруг рудных тел.

Для выяснения особенностей распределения вокруг рудных тел урана, свинца и молибдена — основных элементов-индикаторов — нами определялись их средние содержания на различных уровнях ореолов рассеяния вокруг рудных тел каждой из вышеуказанных грейзеновых зон. На рис. 32 приведены графики изменения средних содержаний этих элементов в ореолах рассеяния, которые показывают, что в распределении химических элементов в ореолах рассеяния вокруг рудных тел месторождения, залегающего в гранитах, также наблюдается определенная вертикальная зональность; она выражается в том, что максимальная интенсивность ореолов рассеяния свинца характерна для верхних частей рудных тел и для участков над ними.

Ниже рудных тел ореол рассеяния свинца, а также молибдена практически полностью выклинивается. Так, если средние содержания свинца и молибдена в 60 м от верхней границы рудных тел на поверхности составляют 6 и 7 ГФ, на уровне средних частей рудных тел — 17 и 36 ГФ, то ниже рудных тел всего 1,5 и 1,1 ГФ (см. рис. 32, а).

Одним из основных параметров вертикальной зональности ореолов рассеяния является величина отношений средних содержаний элементов-индикаторов на различных уровнях ореолов рассеяния. На рис. 32 приведены графики изменения величин отношения средних содержаний свинца и молибдена к среднему содержанию урана. Как следует из этого рисунка, величины отношений средних содержаний свинца и молибдена к среднему содержанию урана в 50 м выше рудных тел составляет 0,6 и 0,8, тогда как в 15 м ниже рудных тел — соответственно 0,15 и 0,07 (см. рис. 32, а).

Как следует из того же рисунка, на большем удалении от верхних частей рудных тел (100 м) величины отношения средних содержаний свинца и молибдена к среднему содержанию урана составляют 1,3 и 1,1 (см. рис. 32, б), т. е. примерно на порядок больше, чем ниже рудных тел, разрез через которые приведен на рис. 32, а.

Отмеченная закономерность позволяет считать, что, как и на месторождениях зоны Меридиональной и Западного разлома, по величине отношений средних содержаний свинца и молибдена к среднему

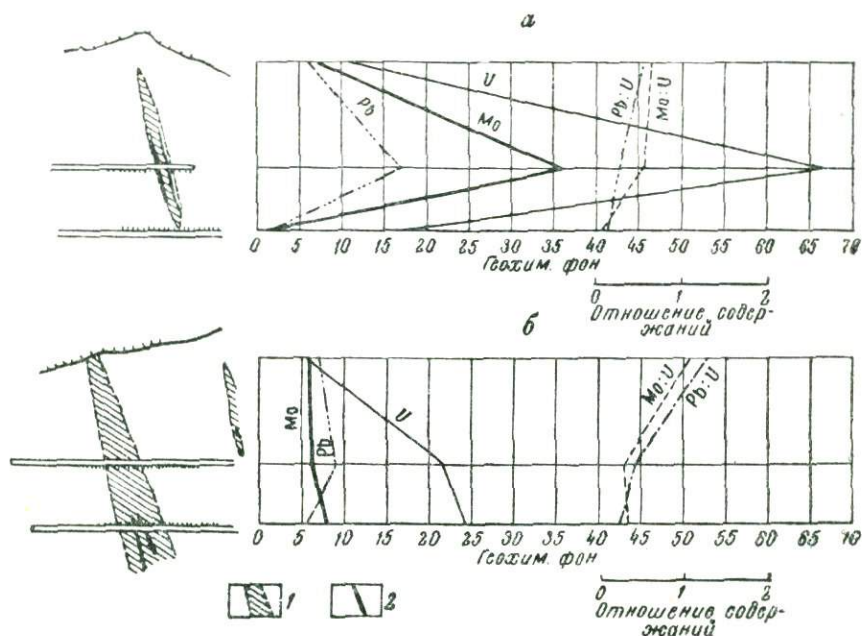


Рис. 32. Графики изменения содержаний элементов в ореолах рассеяния двух участков (а и б)

1 — зоны грейзенизации; 2 — рудные тела

содержанию урана можно определить, представляют ли выявленные разрезы полей ореолов рассеяния верхние или нижние части ореолов, развитых вокруг рудных тел, что весьма важно для правильной оценки выявленных геохимических аномалий с точки зрения возможности выявления на глубине скрытых урановых рудных тел.

О ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА И ЕГО СПУТНИКОВ В ОРЕОЛАХ ИХ РАССЕЯНИЯ ВОКРУГ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Как указывалось выше (гл. I), содержание урана в ореолах рассеяния складывается из первично распределенного во вмещающих породах урана (кларковые содержания) и из урана, привнесенного рудообразующими гидротермальными растворами и образующего ореол вокруг рудных тел. Формы нахождения именно этой его части и представляют для нас интерес. Однако очевидно, что без знания форм нахождения первично распределенного в породах урана трудно определить формы нахождения привнесенной его части и, что особенно важно, их количественные соотношения, тем более, что концентрации привнесенного во вмещающие породы урана, особенно в полях его минимальных концентраций, мало отличаются от кларка урана в породах.

Многие исследователи, изучавшие формы нахождения первично распределенного в магматических породах урана, отмечают, что часть урана извлекается из пород относительно слабыми растворами кислот,

тогда как целиком он извлекается только после полного разрушения кристаллической структуры породообразующих и аксессуарных минералов. Л. В. Таусон, изучавший геохимию урана в гранитоидах Черновинского массива, выделил две основные формы его нахождения — неизоморфную и изоморфную (Таусон, 1956).

Неизоморфной формой урана Л. В. Таусон считает ту его часть, которая извлекается 5%-ным раствором углекислого аммония с добавлением перекиси водорода при кипячении. В этих условиях, как указывает автор, кристаллическая решетка породообразующих и аксессуарных минералов не разрушается. Л. В. Таусон считает, что при описанном методе разложения проб в раствор переходит только уран, находящийся в породе в форме собственных минералов.

Как указывалось выше, для определения содержания урана в металлометрических пробах нами применялся описанный в гл. I метод содового разложения проб. Результаты анализа одних и тех же проб методом, предложенным Л. В. Таусоном, и методом содового выщелачивания показывают, что количества извлеченного этими методами урана из проб примерно одинаковы; это позволяет считать, что извлекаемая путем содового выщелачивания часть урана, так называемая «подвижная» его форма, по существу не что иное, как «неизоморфная» форма урана, выделенная Л. В. Таусоном.

Как показывают результаты анализа многочисленных металлометрических проб, отобранных за пределами ореолов рассеяния, содержание подвижной формы урана колеблется в значительных пределах, но в подавляющем большинстве случаев не превышает 5—10%.

С целью выяснения природы подвижного урана нами проводился электролиз проб кислых эффузивов и гранитов. Опыты по электролизу пород проводились в следующих условиях: 30 г истертого до состояния пудры материала пробы с известным содержанием урана помещались в среднюю камеру электролизатора, заливались 150 мл дистиллированной воды и перемешивались в течение всего опыта. Объем дистиллированной воды в электродных камерах составлял по 200 мл в каждой. Продолжительность опыта составляла 6 часов. После каждого опыта определялось содержание урана в каждой из камер, а также в остаточном продукте средней камеры. Приведенные в табл. 8 данные показывают, что при электролизе проб пород извлечение урана составляет всего лишь несколько процентов. При электролизе пробы урановой смолки в электродные камеры переходит меньше 0,01% урана средней камеры (см. табл. 8); это позволяет считать, что при электролизе в описанных выше условиях извлекается только наиболее легко извлекаемая часть урана (уран в горной влаге, возможно, в атомарно рассеянном состоянии), тогда как собственные минералы урана, в частности урановая смолка, уранинит, при этом практически не растворяются. Из изложенного следует, что основным источником подвижного урана как в кислых эффузивах, так и в гранитах являются главным образом собственные минералы урана, уранинит, урановая смолка, черни.

Таблица 8

Извлечение урана из проб при электролизе

Породы и минералы	Номера проб	Вес проб, г	Содержание урана, г			Извлечение, %
			в исходной пробе	в анодной камере	в катодной камере	
Гранит	Ч—173	30	0,00007	Не обн.	0,000003	4,2
Фельзит-порфир	С—12111	30	0,00003	Не обн.	0,000018	6,0
Урановая смолка	С—326	0,2	0,138	Сл.	0,00001	0,007

Распределение урана, молибдена и

Элементы	Место взятия проб	Легкая фракция					
		—1,0±0,15 м.м				—0,15	
		Электромагнитная		Неэлектромагнитная		Электромагнитная	
		Вес, г	Содержание, %* г	Вес, г	Содержание, % г	Вес, г	Содержание, % г
Уран	В 20 м от рудного тела	11,2	$\frac{0,001}{0,00012}$	91,3	$\frac{0,01}{0,0091}$	12,3	$\frac{0,0027}{0,00033}$
	Рудное тело	8,95	$\frac{0,46}{0,04}$	82,3	$\frac{0,061}{0,05}$	11,37	$\frac{0,1}{0,012}$
Молибден	В 20 м от рудного тела	11,2	$\frac{0,0062}{0,00069}$	91,3	$\frac{0,004}{0,0037}$	12,3	$\frac{0,0065}{0,0008}$
Свинец	В 20 м от рудного тела	11,2	$\frac{0,33}{0,038}$	91,3	$\frac{0,43}{0,38}$	12,3	$\frac{0,26}{0,032}$

* В числителе — содержание в ‰, в знаменателе — в г.

Формы нахождения урана, привнесенного гидротермальными растворами при образовании урановых рудных тел и ореолов рассеяния, изучались нами по пробам, отобраным из ореолов рассеяния, а следовательно, отличающимся повышенными по сравнению с фоновыми концентрациями урана.

Прежде чем перейти к описанию вещественного состава ореолов рассеяния, следует кратко описать формы нахождения урана, а также сопутствующих ему элементов в рудах изученных нами урановых месторождений.

Как показывает микроскопическое изучение шлифов, а также результаты химического и спектрального анализов образцов и мономинеральных проб руд, носителями урана и его спутников — свинца, молибдена, цинка и меди — являются их собственные минералы: урановая смолка и черни (уран), галенит (свинец), молибденит (молибден), сфалерит (цинк) и халькопирит (медь). Других минералов, содержащих эти элементы в сколько-нибудь значительных количествах, в рудах описываемых месторождений не обнаружено, если не считать незначительные их примеси в рудных минералах, образовавшихся в процессе рудообразования.

В рудах урановая смолка образует почки, корочки и прожилки различных размеров. Нередко ее выделения обладают зональным строением, обусловленным чередованием концентрических полос с различной отражательной способностью.

Урановая смолка с галенитом, молибденитом, сфалеритом и халькопиритом образует тонкие прорастания, свидетельствующие об их близкоодновременном образовании.

В шлифах, отобранных в пределах полей ореолов рассеяния с относительно высокими содержаниями урана, иногда удается устано-

свинца по различным фракциям проб

мм		Тяжелая фракция							
		-1,0-0,15 мм				-0,15 мм			
		Неэлектромагнитная		Электромагнитная		Неэлектромагнитная		Электромагнитная	
Вес, г	Содержание, % г	Вес, г	Содержание, % г	Вес, г	Содержание, % г	Вес, г	Содержание, % г	Вес, г	Содержание, % г
57,3	$\frac{0,0027}{0,00154}$	1,4	$\frac{0,045}{0,0063}$	5,1	$\frac{0,0081}{0,00041}$	1,5	$\frac{0,0635}{0,00095}$	3,9	$\frac{0,0036}{0,00014}$
48,82	$\frac{0,91}{0,43}$	1,26	$\frac{4,6}{0,058}$	3,34	$\frac{1,28}{0,04}$	1,11	$\frac{1,30}{0,014}$	3,37	$\frac{0,85}{0,028}$
57,3	$\frac{0,003}{0,0017}$	1,4	$\frac{0,33}{0,0046}$	5,1	$\frac{0,138}{0,0068}$	1,5	$\frac{0,085}{0,0012}$	3,9	$\frac{0,105}{0,0041}$
57,3	$\frac{0,43}{0,246}$	1,4	$\frac{3,7}{0,052}$	5,1	$\frac{18,3}{0,93}$	1,5	$\frac{4,2}{0,063}$	3,9	$\frac{24,7}{0,965}$

вить присутствие урановой смолки и сопутствующих ей сульфидов. В шлифах же, изготовленных из образцов, отобранных из полей ореолов рассеяния с невысокими концентрациями, эти минералы обнаруживаются чрезвычайно редко.

С целью детального изучения форм нахождения урана и его спутников, привнесенных гидротермальными растворами во вмещающие породы, нами изучалось их распределение по различным фракциям искусственных протолочек, в качестве которых были использованы дубликаты металлометрических проб.

В табл. 9 приведены данные распределения урана и его основных спутников — свинца и молибдена — по различным фракциям металлометрических проб, отобранных из ореолов рассеяния на месторождении, залегающем в кислых эффузивах.

Микроскопическое изучение шлифов, изготовленных из материала различных фракций искусственных протолочек, показывает, что урановая смолка с чернями в значительных количествах концентрируется в тяжелых фракциях, в легких — крайне редко и лишь как мельчайшие вкрапленники — в обломках вмещающих пород. Концентрация урана в тяжелой неэлектромагнитной фракции вызвана тем, что урановая смолка образует с сульфидными минералами этой фракции — галенитом и молибденитом — тонкие прорастания. Для сравнения в этой же таблице помещены также данные распределения урана по фракциям рудной пробы. Как видно, распределение урана в металлометрической и рудной пробах идентично. Количество урана, привнесенного во вмещающие рудные тела породы в форме примесей в рудных минералах, незначительно и в общем балансе урана существенной роли не играет. Поэтому следует считать, что привнесенный уран в ореолах рассеяния почти полностью находится в форме собственных минералов: урановой

смолки и черной. Уран, входящий в состав этих минералов, извлекается при анализе проб описанным выше методом содового разложения.

В пробах, отобранных из ореолов рассеяния и отличающихся относительно повышенным содержанием, извлечение урана резко возрастает, что вызвано переходом в раствор урана, привнесенного гидротермальными растворами. Процент извлечения урана из проб прямо пропорционален концентрации урана в пробе, т. е. количеству урана, привнесенного в процессе рудообразования. Эта зависимость графически изображена на рис. 33. По оси абсцисс отложены интервалы содержания урана в пробах, а по оси ординат—процент извлечения, т. е. количество подвижного урана.

Процент извлечения урана каждого из интервалов содержания определялся как среднее арифметическое из 50 проб гранитов, отобранных на месторождении, залегающем в гранитах. Эта зависимость также отчетливо видна на примере отдельных проб как кислых эффузивов, так и гранитов, для которых

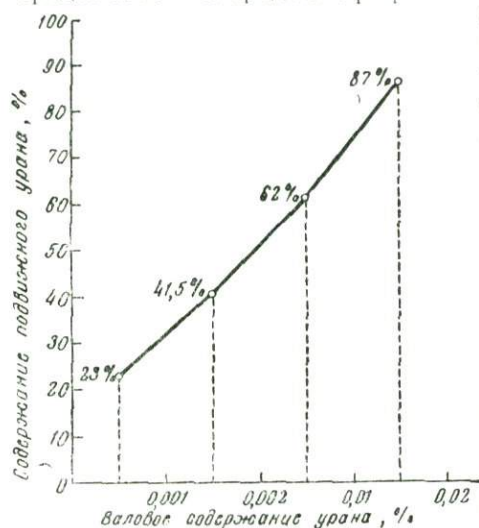


Рис. 33. График зависимости извлечения подвижного урана от концентрации урана в пробах

графики извлечения урана в зависимости от времени кипячения приведены на рис. 34 и 35. Извлечение урана из проб, отобранных в пределах ореолов рассеяния (см. рис. 34, кривые 1, 2, 3, 4 и рис. 35, кривые 1, 2, 3, 4, 5), больше чем из проб с фоновым содержанием урана (кривая 5 на рис. 34 и кривая 6 на рис. 35). Из этих графиков следует, что получасовое кипячение, принятое нами для анализа проб, достаточно для извлечения урана, образующего ореол рассеяния вокруг рудных тел, залегающих в кислых эффузивах, фельзитах и гранитах.

В опубликованной в 1957 г. статье «Использование легкоизвлекаемого урана при геохимических поисках на плато Колорадо» Холланд и другие также рекомендуют выявлять ореолы рассеяния урана путем определения в пробах содержания той части урана, которая извлекается раствором азотной кислоты (концентрация 1:1). Нам кажется, что выбор азотной кислоты как растворителя является не совсем удачным, так как в породах, особенно осадочных, как правило, всегда присутствуют различные карбонаты, которые могут войти во взаимодействие с азотной кислотой, в связи с чем наблюдающиеся резкие колебания в содержании карбонатов в породах вызовут и колебания в извлечении легкорастворимого урана. Кроме того, азотной кислотой частично разрушается кристаллическая решетка породообразующих минералов, и трудно судить о геохимической природе извлечения урана. Следует также отметить, что в связи с переходом в раствор многих катионов, образующих растворимые азотнокислые соли, определение урана значительно затрудняется. Очевидно, что при такой методике анализа трудно будет получить объективные данные по ореолам рассеяния урана.

Кроме минералов урана, в материале тяжелых фракций проб, отобранных в пределах ореолов рассеяния, устанавливаются галенит, молибденит, сфалерит и халькопирит, являющиеся основными формами нахождения в ореолах рассеяния свинца, молибдена, цинка и меди. Все эти минералы, как правило, встречаются в совместных субмикроскопиче-

ских выделениях, отчетливо корродирующих зерна пирита, широко распространенного в ореолах рассеяния.

При изучении форм нахождения в ореолах рассеяния урана и других элементов в специально отобранных на месторождении, залегающем в кислых эффузивах, мономинеральных пробах основных рудных минералов — урановой смолки, галенита и пирита — спектральным анализом

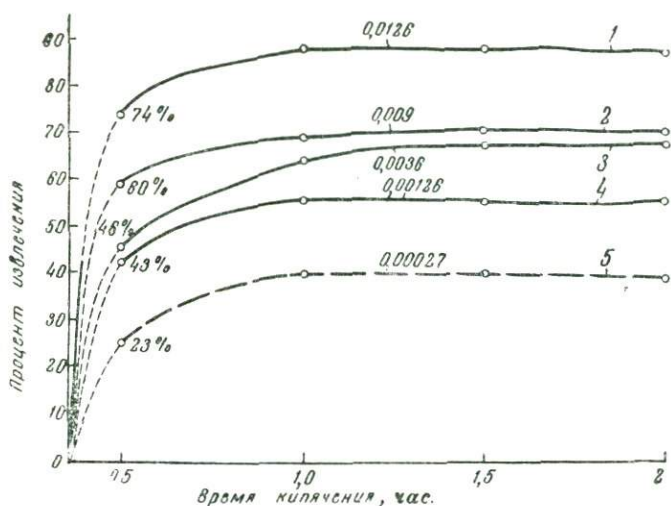


Рис. 34. Кривые извлечения подвижного урана из фельзит-порфириров. На кривых цифрами обозначены номера проб и валовое содержание урана в них. Пунктиром изображена кривая извлечения урана из пробы с фоновым содержанием урана

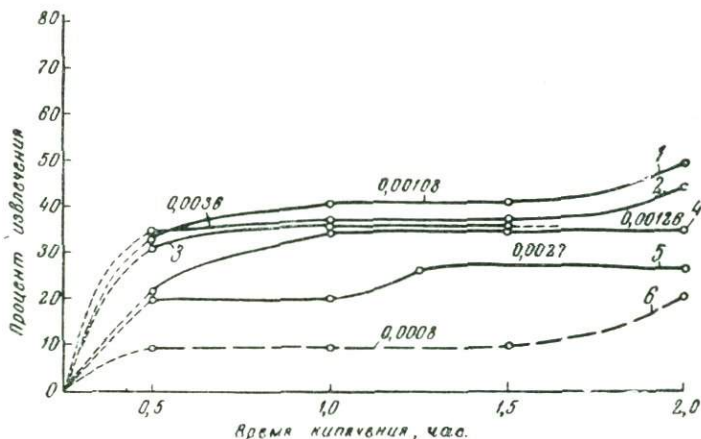


Рис. 35. Кривые извлечения подвижного урана из гранитов

определялось содержание элементов-примесей. Содержание урана определялось люминесцентным методом.

Элементы-примеси в молибдените не изучались, так как из-за микроскопических размеров выделений и тесных прорастаний его в урановой смолке не удалось отобрать достаточно чистых мономинеральных проб молибденита.

Эти исследования показали, что в урановой смолке и галените рудных тел и ореолов рассеяния присутствуют одни и те же элементы-примеси.

Приведенный выше материал о формах нахождения в ореолах рассеяния урана и сопутствующих ему элементов и идентичность этих форм в рудах и ореолах рассеяния, а также наличие в рудных минералах руд и ореолов рассеяния одних и тех же элементов-примесей говорят о тесной генетической связи ореолов рассеяния и рудных тел, образовавшихся в результате единого гидротермального процесса.

Аналогичный вывод нами был сделан при изучении ореолов рассеяния свинцово-цинковых рудных тел.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании изложенных в настоящем разделе материалов об эндогенных ореолах рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел можно сделать следующие основные выводы.

1. Вокруг урановых рудных тел описанных выше месторождений в коренных породах установлены отчетливые ореолы рассеяния урана, свинца, молибдена, цинка меди. На месторождении, залегающем в кислых эффузивах, кроме того, установлен ореол рассеяния серебра и ртути, а на месторождении, залегающем в фельзитах, — ванадия.

2. Так же как и на свинцово-цинковых месторождениях, размеры ореолов рассеяния элементов во много раз превышают размеры самих рудных тел. Наиболее широкие и протяженные ореолы рассеяния вокруг рудных тел образуют уран, свинец и молибден, в связи с чем эти элементы следует считать наиболее ценными элементами-индикаторами урановых рудных тел. Отмечается также преимущественное развитие ореолов рассеяния вверх над крутопадающими урановыми рудными телами.

3. Распределение элементов в ореолах рассеяния урановых рудных тел более неравномерное по сравнению с распределением их в ореолах свинцово-цинковых рудных тел. Коэффициенты вариации урана и молибдена в ореолах рассеяния достигают 300%, а свинца — 200%. Это весьма затрудняет выяснение закономерностей распределения химических элементов в ореолах, градиентов их концентраций и т. п.

4. Проникновение химических элементов от рудных тел во вмещающие породы происходило в основном по трещинам и зонам повышенной трещиноватости пород. Диффузия при этом имела резко подчиненное значение.

5. В строении ореолов рассеяния элементов, развитых вокруг урановых рудных тел, так же как и в ореолах свинцово-цинковых рудных тел, намечается отчетливая зональность, проявляемая в том, что ореолы рассеяния основных спутников урана — свинца и молибдена — интенсивно развиваются выше рудных тел, а ниже их затухают, тогда как ореол рассеяния урана одинаково интенсивно развит как выше, так и ниже рудных тел.

Количественной характеристикой отмеченной зональности являются величины отношений средних содержаний свинца и молибдена к среднему содержанию урана. Эти величины выше рудных тел намного больше, чем ниже их.

6. Формы нахождения элементов в ореолах их рассеяния и рудных телах одни и те же. Идентичны также возрастные взаимоотношения рудных минералов, их элементов-примесей в рудных телах и окаймляющих их ореолах рассеяния. Это указывает на прямую генетическую связь ореолов рассеяния и рудных тел.

СВЯЗЬ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ С ОКОЛОРУДНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Как указывалось выше, между эндогенными ореолами рассеяния химических элементов и околорудными измененными породами существует тесная генетическая связь. Ореолы рассеяния и зоны гидротермальноизмененных пород по существу представляют собой проявление единого геохимического процесса изменений вмещающих рудные тела пород, связанного с процессом эндогенного рудообразования.

Несмотря на геохимическое родство ореолов рассеяния и околорудных изменений вмещающих пород, между ними обычно имеются четкие различия. Во-первых, при образовании зон измененных пород происходит существенный привнос, вынос и перераспределение основных породообразующих химических элементов, тогда как образование первичных эндогенных ореолов рассеяния связано только с привносом во вмещающие породы очень незначительных количеств (обычно менее 1%) рудообразующих химических элементов, которые могут рассматриваться лишь как примеси в составе вмещающих пород. Во-вторых, первичные эндогенные ореолы рассеяния рудных элементов обычно сингенетичны с рудными телами, а изменение вмещающих пород может предшествовать процессу рудоотложения или происходить одновременно с ним.

Кроме того, зоны измененных пород — это обычно визуально наблюдаемые объекты, тогда как ореолы рассеяния часто устанавливаются только лишь в результате химического или спектрального определения содержания соответствующих элементов в породах.

Наряду с этим следует отметить, что имеют место и такие околорудные изменения вмещающих пород, при которых измененные породы и ореолы рассеяния являются синонимами. Так, пиритизированные породы часто соответствуют ореолам рассеяния серы, баритизированные породы — ореолам рассеяния бария, турмалинизированные породы — ореолам рассеяния бора и т. п.

Учитывая сингенетичность эндогенных ореолов рассеяния химических элементов и рудных тел, нетрудно прийти к выводу, что вопрос о связи изменения пород с ореолами рассеяния является по существу вопросом о связи изменения пород с оруденением.

Возможны следующие взаимоотношения изменения пород с оруденением во времени:

- а) изменение пород предшествует оруденению;
- б) изменение пород происходит одновременно с оруденением;
- в) изменение пород происходит после оруденения.

Наиболее простые соотношения зон околорудных изменений и эндогенных ореолов рассеяния следует ожидать на месторождениях, сформированных в течение одной стадии минерализации.

На месторождениях, процесс формирования которых был многостадийным, выяснение взаимоотношений ореолов рассеяния и околорудных изменений вмещающих пород может осложняться в связи с пространственным совмещением изменений и ореолов рассеяния элементов различных стадий минерализации.

При изучении околорудных изменений пород обращает на себя внимание их зональное строение, которое выражается в том, что с приближением к рудному телу или рудоподводящему каналу последовательно от одной зоны к другой изменяется состав вмещающих пород. В непосредственной близости от рудных тел или рудоподводящих каналов степень изменения пород максимальна. Как показал Д. С. Коржинский (1953), такая зональность изменения вмещающих пород обусловлена

различной подвижностью компонентов при метасоматозе и является характерной чертой всех метасоматических процессов.

Относительные размеры отдельных зон в пределах общей зоны изменения пород различны, но обычно зоны интенсивного изменения вмещающих пород, прилегающие к рудным телам, имеют значительно меньшие мощности, чем внешние зоны более слабого изменения. Это обстоятельство необходимо иметь в виду, рассматривая пространственные соотношения ореолов рассеяния с зонами окolorудного изменения.

В практических целях целесообразно выделить две группы окolorудных изменений:

а) изменения, охватывающие значительные (превышающие размеры рудных тел в десятки раз) пространства вокруг рудных тел и рудовмещающих тектонических нарушений;

б) изменения, занимающие ограниченные (близкие по размерам к рудным телам или превышающие их только в несколько раз) пространства и локализующиеся в непосредственной близости от рудных тел.

Изменения первой группы по масштабам своего распространения обычно близки к ореолам рассеяния рудных элементов и имеют большое поисковое значение. Изменения второй группы значительно уступают по масштабам ореолам рассеяния и пространственно тяготеют к участкам полей ореолов рассеяния высокой концентрации.

Выше, при описании свинцово-цинковых и урановых месторождений, были приведены некоторые данные о положении эндогенных ореолов рассеяния относительно зон окolorудных изменений. Связь ореолов рассеяния с изменением пород рассматривается более детально, с учетом данных специальных исследований, проведенных на всех изученных нами месторождениях. Однако вследствие большой сложности затрагиваемой проблемы не на всех месторождениях удалось получить удовлетворительные результаты; поэтому приводимый ниже материал не претендует на подробное освещение данной проблемы. Следует отметить, что на изученных нами месторождениях проявлены только дорудные и одновременно с рудоотложением изменения вмещающих пород. Послерудные изменения вмещающих пород на изученных месторождениях не были выявлены. Проявление их следует ожидать на месторождениях, имеющих сложную историю формирования.

Наиболее полные данные о связи ореолов рассеяния с изменением пород были получены на месторождении, залегающем в кислых эффузивах. Это месторождение представляло собой благоприятный объект для исследования, поскольку формирование рудных тел и изменение вмещающих пород на нем происходило в течение одной стадии минерализации.

Измененные породы на месторождении распространяются на значительные пространства вокруг рудных тел. При этом наиболее широко окolorудные изменения развиты на уровне рудных тел и над ними и резко затухают ниже их. Ширина зон измененных пород на уровне рудных тел достигает 80—100 м, а ниже рудных тел изменение наблюдается только в пределах узких полос около рудоносных нарушений.

Выше рудных тел по их восстанию измененные породы прослеживаются на расстоянии до 100—150 м, иногда до 300 м. Поскольку в пределах участка месторождения рудные тела сближены, зоны измененных пород, развивающихся около отдельных рудных тел, сливаются между собой, образуя широкую (до 600 м) полосу северо-восточного простирания (см. рис. 15).

Для окolorудных изменений пород на данном месторождении характерна отчетливая зональность. Общая последовательность зон в сечении вкрест простирания рудного тела следующая. В непосредственном контакте с рудной жилой устанавливается зона аргиллизированных пород, сложенных в основном альбитом и монтмориллонитом.

Мощность этой зоны колеблется от нескольких миллиметров до 5—10 см. К ней примыкает зона окварцованных пород, в пределах которой царяду с альбитизацией полевых шпатов наблюдается замещение их кварцем. Мощность зоны окварцованных пород достигает первых десятков сантиметров. Далее следует зона альбитизированных пород, в пределах которой полевые шпаты замещены альбитом. Мощность зоны альбитизации колеблется от первых метров до 10—15 м.

Следующая внешняя зона представлена осветленными и пиритизированными породами. Мощность зоны осветления и пиритизации гораздо больше всех внутренних зон и достигает первых десятков метров. Осветление захватывает всю породу в целом или развивается в виде пятен и полос. Частичное осветление пород характерно для периферической части зоны измененных пород. Осветление пород связано с растворением микроскопической вкрапленности магнетита, содержащегося в основной массе неизмененных пород (кварцевых порфиров, их туфов и т. п.), и с замещением темноцветных минералов серицитом и кальцитом. Осветленные породы обычно содержат макроскопически видимую вкрапленность пирита. Вне участков осветления пирит в породах отсутствует. Детальное изучение осветленных пород подтверждает тесную связь осветления с пиритизацией и показывает, что осветление пород происходило в результате воздействия на них гидротермальных растворов, содержащих анионы двухвалентной серы. Последнее приводило к восстановлению окисленного железа пород и к связыванию его в пирит. Отсюда также следует, что зоны осветления и пиритизации пород по существу фиксируют ореолы рассеяния серы.

Макроскопически отчетливо выделяются только две крайние зоны: аргиллизации и осветления. Альбитизированные и окварцованные породы макроскопически не отличаются от осветленных, и выделение их производится только при микроскопическом и химическом изучении измененных пород. Указанная выше зональность околорудных изменений в полном виде проявляется не всюду. Обычно устанавливаются только зона альбитизированных и зона осветленных и пиритизированных пород, тогда как две внутренние зоны окварцевания и аргиллизации могут отсутствовать. Зоны аргиллизации наблюдались в основном в связи с рудными телами, залегающими на глубине свыше 200 м. Характерно, что все отмеченные выше зоны измененных пород развиваются только в верхних частях рудных тел и над ними, а в нижних частях рудных тел и под ними наблюдается только внешняя зона околорудного изменения — зона осветленных пород. При этом мощность последней резко сокращается — от десятков метров в верхних частях рудных тел до первых метров в нижних частях.

Измененные породы распространяются на значительные расстояния выше рудных тел. При этом в их распространении и по вертикали проявляется отмеченная выше зональность: аргиллизированные породы распространяются вдоль трещин на расстоянии до 20 м выше рудных тел, альбитизированные породы — на 20—60 м, осветленные и пиритизированные породы — до 100—150 м, иногда до 300 м.

Заканчивая рассмотрение околорудных изменений, следует особо остановиться на таком специфичном для гидротермальных месторождений урана околорудном изменении пород, как покраснение.

На месторождении, залегающем в кислых эффузивах, это изменение выражается в следующем: в контакте с рудными телами, а также около рудоносных трещин, выше и ниже рудных тел, вмещающие породы приобретают темно-розовую до вишнево-красной окраску. Интенсивность покраснения усиливается по мере приближения к рудным телам и трещинам. Зоны покраснения имеют мощность от нескольких сантиметров до 2 м. Выше отдельных рудных тел покраснение пород прослежено на расстоянии 100—140 м. Над рудными телами зон

«Новых» покраснение установлено на расстоянии до 270 м по восстанию их. Ниже рудных тел покраснение наблюдалось на всем вскрытом интервале (до 60 м). Минералогически покраснение пород обуславливается появлением в них дисперсно-мелких включений окислов железа (в основном, гематита), играющих роль пигмента.

Покраснение не занимает определенного места в описанной выше зональности околорудных изменений. Покраснению подвергаются все известные на месторождении разновидности измененных пород (аргиллизированные, окварцованные, альбитизированные, пиритизированные и осветленные). Все это указывает на особые условия проявления покраснения по сравнению с обычными типами околорудных изменений.

Из приведенного выше краткого описания околорудных изменений следует, что по масштабам своего проявления к ореолам рассеяния урана и его спутников близки только зоны осветления и пиритизации, тогда как внутренние зоны околорудных изменений (зоны аргиллизации, окварцевания, альбитизации и покраснения) по масштабам резко уступают ореолам. Таким образом, изменения внешней зоны следует относить к изменениям первой группы (по принятой выше группировке), а изменения внутренних зон — ко второй.

Сопоставление пространственного положения зон осветленных и пиритизированных пород и ореолов рассеяния урана и его спутников на этом месторождении показывает, что ореолы рассеяния свинца, молибдена, а также меди, цинка, серебра, занимая значительные пространства, практически не выходят за пределы зон осветленных и пиритизированных пород (см. рис. 15, 16, 17, 18, 19). При этом ореолы рассеяния свинца и молибдена по размерам близки к последним, а ореолы рассеяния меди, цинка и серебра значительно уступают им. В нижних частях рудных тел и под ними резко уменьшаются размеры и интенсивность как зон осветления и пиритизации, так и ореолов свинца, молибдена, меди, цинка и серебра. Выше рудных тел осветление и пиритизация прослеживаются на большее расстояние, чем ореолы рассеяния перечисленных выше химических элементов.

Ореолы рассеяния подвижного урана в целом не совпадают с зонами осветленных и пиритизированных пород и часто занимают большие пространства, чем эти зоны (см. рис. 19). Намечается только приуроченность полей ореолов рассеяния подвижного урана высокой концентрации к участкам интенсивно осветленных и пиритизированных пород на уровне рудных тел и несколько выше их. В то же время в районе месторождения известны крупные по размерам зоны осветленных и пиритизированных пород, в пределах которых установлены незначительные по размерам ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена.

Различие в пространственных соотношениях ореолов рассеяния свинца и молибдена и зон осветления и пиритизации, с одной стороны, и ореолов рассеяния урана с этими зонами — с другой, подтверждается данными по распределению частот содержаний соответствующих элементов в неизмененных (неосветленных) и в осветленных, пиритизированных кварцевых порфирах и их туфах в пределах участка месторождения (рис. 36).

Содержания свинца (0,001%) и молибдена (0,0003%), соответствующие моде кривых их распределения в неосветленных породах, отвечают геохимическому фону этих элементов для пород за пределами месторождения, тогда как содержание подвижного урана (0,00018%), соответствующее моде кривой его распределения в неосветленных породах в пределах участка месторождения, в 10 раз превышает геохимический фон подвижного урана в породах района.

В распределении частот содержаний свинца в осветленных и пиритизированных породах наблюдаются три отчетливых максимума: первый — 0,001%, соответствующий геохимическому фону свинца в неиз-

менных породах, второй — 0,025%, третий — 1%, причем на пробы с содержанием свинца, равным геохимическому фону и ниже его, приходится менее 20% всех учтенных проб. Содержание молибдена, соответствующее моде кривой его распределения в осветленных породах, равно 0,00035%, т. е. несколько превышает геохимический фон молибдена. Различная степень возрастания содержаний свинца и молибдена

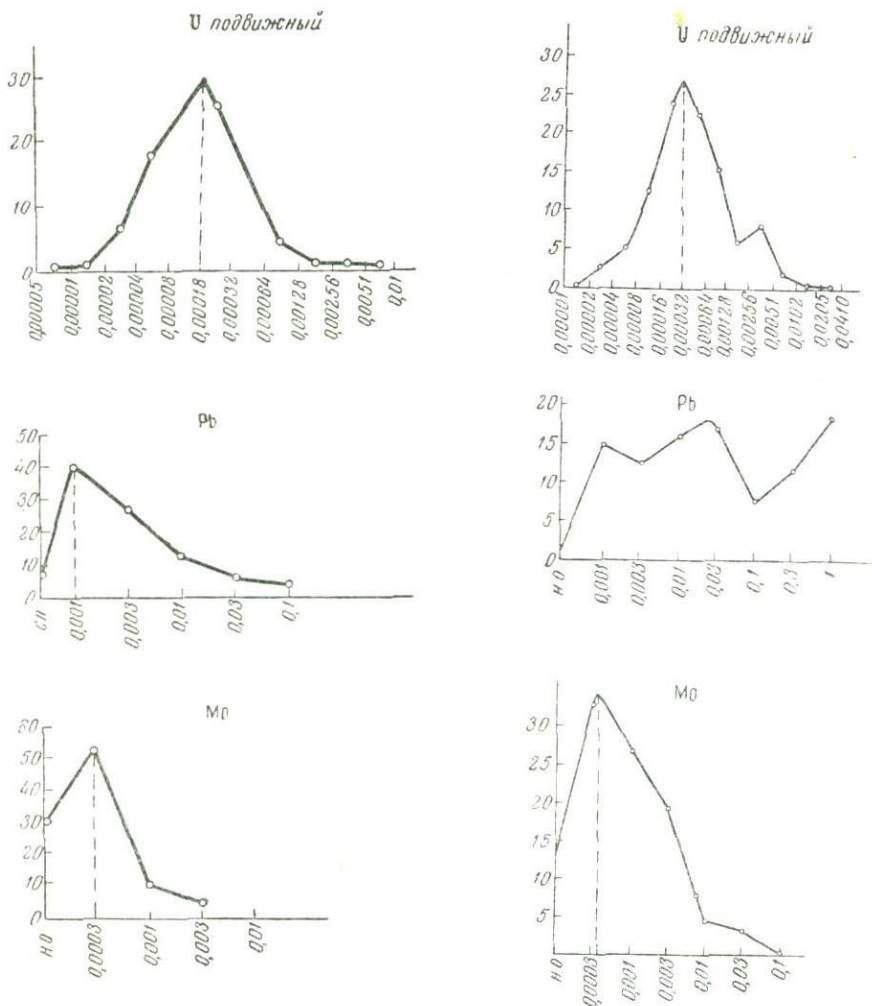


Рис. 36. Графики распределения частот содержаний подвижного урана, свинца и молибдена в неизменных (левая часть) и осветленных, пиритизированных (правая часть) кварцевых порфирах и их туфах. По оси абсцисс — содержания элементов (%) в логарифмическом масштабе, по оси ординат — частота встречаемости этих содержаний (%) в линейном масштабе

в осветленных и пиритизированных породах по сравнению с неизменными хорошо увязывается с масштабами их рассеяния: свинец рассеивается на большие расстояния от рудных тел, чем молибден.

Содержание подвижного урана, отвечающее моде кривой его распределения в осветленных породах, в 1,7 раза превышает таковое в неосветленных породах и в 17 раз выше его геохимического фона. Сравнение содержаний урана и элементов-спутников в неизменных и осветленных породах, взятых из контакта друг с другом, показывает, что при переходе от неизменных пород к осветленным содержание подвижного урана в большинстве случаев увеличивается (в 3—20 раз),

реже сохраняется без изменений, тогда как содержание свинца в основном не изменяется, оставаясь на уровне геохимического фона, реже возрастает в 2—3 раза. Содержание других элементов, образующих ореолы рассеяния около рудных тел, в этих участках ниже аномальных значений, и при переходе от неизмененных пород к осветленным заметных изменений не устанавливается.

Различное положение ореолов рассеяния урана и ореолов рассеяния свинца и молибдена по отношению к зонам осветления и пиритизации пород хорошо согласуется с формами нахождения их в ореолах рассеяния. Свинец и молибден в ореолах рассеяния, как показано выше, встречаются в виде сульфидов, а зоны осветленных и пиритизированных пород фиксируют собой ореол рассеяния серы. В связи с этим распространение свинца и молибдена в ореолах рассеяния ограничивается зонами осветленных и пиритизированных пород.

Взаимоотношения ореолов рассеяния химических элементов с зонами альбитизации, окварцевания, аргиллизации и покраснения определяется прежде всего относительно малыми масштабами распространения этих изменений и локализацией их в непосредственной близости от рудных тел. Вследствие этого зоны таких изменений пространственно совпадают с полями высоких концентраций урана и элементов-спутников в ореолах их рассеяния.

Так, аргиллизированные породы всегда содержат очень высокие концентрации урана, свинца и молибдена. Для альбитизированных пород также характерны высокие содержания урана, свинца и молибдена. В них обычно наблюдается макроскопически видимая вкрапленность галенита, которая, как показывают наблюдения, фиксирует ореолы рассеяния свинца с концентрацией свыше 0,3—0,5%. В шлифах видно, что галенит в ассоциации с альбитом метасоматически развивается по вкрапленникам калиевого полевого шпата, тогда как вкрапленники незатронутого альбитизацией плагноклаза не содержат включений галенита. Такие взаимоотношения минералов указывают на одновременность образования галенита и альбита в измененных породах.

Интересная зависимость была установлена между покраснением пород и рассеянием урана.

Характерной особенностью покрасневших пород является резко повышенное содержание в них урана. Наиболее часто встречающееся содержание подвижного урана в покрасневших породах около рудного тела зоны Меридиональной (рис. 37) равно 0,0032% (около 200 ГФ). При этом самые низкие содержания подвижного урана в покрасневших породах в 30—40 раз выше его геохимического фона. Эта урановая «специфика» покрасневших пород особенно четко выступает при сравнении распределения урана в них с распределением свинца и молибдена. В распределении частот содержаний свинца в покрасневших породах наблюдается два отчетливых максимума: первый, второстепенный, — 0,01% (5 ГФ) и второй, главный, — 1%; но на пробы с содержанием свинца ниже геохимического фона (0,002%) падает около 8% всех учтенных проб. Содержание молибдена, соответствующее моде кривой его распределения в покрасневших породах, равно 0,005% (17 ГФ), но на пробы с содержанием молибдена, равным геохимическому фону (0,0003%) и меньше, падает 15% учтенных проб.

В этом отношении показателен также характер изменения содержаний урана, свинца, молибдена и других элементов при переходе от осветленных пород к покрасневшим (см. рис. 38). Для урана всегда наблюдается резкое (в 5—30 раз) увеличение содержаний, тогда как в изменении содержаний свинца, молибдена и других элементов такая строгая зависимость отсутствует. Содержание этих элементов при переходе от осветленных пород к покрасневшим либо возрастает (но не в такой степени как содержание урана), либо сохраняется на одном

уровне, а иногда даже уменьшается. Примечательно, что в пределах зон покраснения наблюдается прямая зависимость между интенсивностью покраснения пород и содержанием в них урана.

Описанная зависимость между покраснением пород и рассеянием урана характерна и для других изученных нами месторождений урана. Поэтому есть основание полагать, что такая зависимость между покрас-

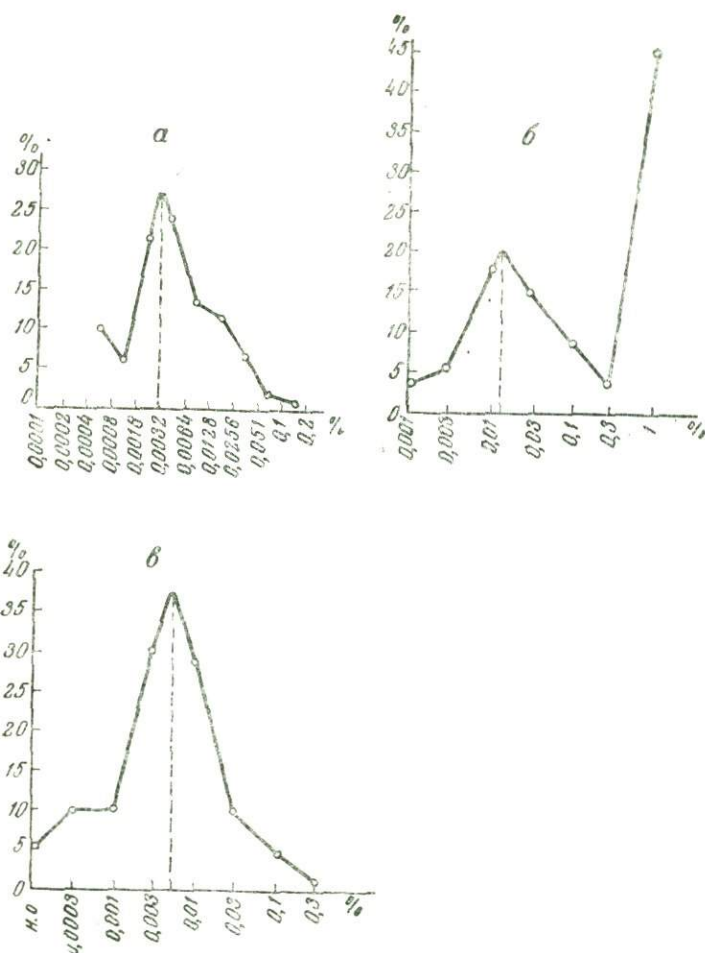


Рис. 37. Графики распределения частот содержаний подвижного урана (а), свинца (б) и молибдена (в) в покрасневших породах. По оси абсцисс — содержание элементов (%) в логарифмическом масштабе, по оси ординат — частота встречаемости этих содержаний (%) в линейном масштабе

нением пород и содержанием в них урана является общей закономерностью для гидротермальных урановых месторождений. В литературе также имеются указания на повышенную радиоактивность покрасневших пород на гидротермальных месторождениях урана (Everhart D. S., Wright R. I., 1953; Kerr P. F., Robinson A. F., 1953).

Следует, однако, отметить, что покраснение пород не всегда сопровождается урановос оруденение. Зоны покраснения (гематитизации) пород отмечаются иногда в связи с магнетитовыми, гематитовыми, баритовыми, карбонатными и кварцевыми жилами, а также часто сопровождают зоны грейзенизации и альбитизации пород. Нами были проведены определения содержания урана в таких покрасневших породах.

Они показали, что в этих породах образующихся вне связи с урановым оруденением, содержание урана находится на уровне фоновых содержаний и не возрастает по сравнению с неизменными вмещающими породами. Это обстоятельство следует учитывать при использовании зон покраснения как поискового признака на урановое оруденение.

Резюмируя приведенные выше данные о взаимоотношении ореолов рассеяния с изменениями вмещающих пород, необходимо еще раз подчеркнуть их тесную пространственную и генетическую связь и отметить, что по масштабам распространения зоны измененных пород (в целом) и ореолы рассеяния урана и его основных элементов-спутников (свинца и молибдена) близки между собой. При этом следует учитывать, что среди измененных пород на месторождении, залегающем в кислых эффузивах, наиболее широко развиты осветленные и пиритизированные породы внешней зоны изменения, которые легко определяются визуально. Однако далеко не на всех изученных нами месторождениях внешние зоны слабого окolorудного изменения вмещающих пород, занимающие значительные пространства, устанавливаются визуально без микроскопического изучения. В связи с этим поля их распространения не всегда могут быть задокументированы достаточно точно. Это обстоятельство следует иметь в виду при сопоставлении ореолов рассеяния с зонами измененных пород, особенно в тех случаях, когда наблюдается более широкое распространение рассеянных элементов по сравнению с визуально выделенными зонами изменения.

Взаимоотношения ореолов рассеяния с дорудным изменением вмещающих пород изучались на примере свинцово-цинковых и некоторых урановых месторождений.

Дорудное изменение вмещающих пород на изученных свинцово-цинковых месторождениях выражается в их скарнировании. На месторождении группы крутопадающих рудных тел скарнированы известняки и гранодиориты, а на месторождении с пологозалегающими рудными телами — конгломераты.

Ореолы рассеяния рудообразующих элементов на месторождениях с крутопадающими рудными телами установлены в скарнированных породах (см. рис. 3—6). Примечательно, что участок поля ореолов рассеяния высокой концентрации пространственно тяготеет к зонам скарнов, а в пределах зон слабоскарнированных пород преимущественно устанавливаются поля ореолов рассеяния низких концентраций. На месторождении с пологозалегающими рудными телами ореолы рассеяния распространяются в пределах толщи скарнированных конгломератов. Интенсивность их резко уменьшается при переходе в дацитовые порфириты, в которых скарновый процесс не проявлен (см. рис. 12).

Отмеченную пространственную связь наложенных ореолов рассеяния с зонами скарнирования следует связывать с более высокой проницаемостью скарнированных пород по сравнению с неизменными. По данным Ю. А. Розанова (1961), пористость скарнов на месторождении с крутопадающими рудными телами, а также и на других скарновых месторождениях резко повышена по сравнению с породами, за счет которых они образовались.

Отчетливая пространственная связь ореолов рассеяния с зонами дорудного изменения пород наблюдалась на одном из изученных нами урановых месторождений. На этом месторождении широко проявлены серицитизация и окварцевание вмещающих пород (кислых эффузивов и интрузивных пород) в связи с образованием ранних кварцево-сульфидных жил. Сравнение пространственного положения зон измененных пород и ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена на этом месторождении показало, что ореолы рассеяния в целом располагаются

в пределах зон измененных пород. При этом намечается отчетливая зависимость между интенсивностью изменения пород и концентрацией свинца в них. Для урана и молибдена такой зависимости нет. Поля ореолов рассеяния урана и молибдена высокой концентрации часто фиксируются в участках слабого изменения пород. Такое различие в соотношении ореолов рассеяния свинца, с одной стороны, и урана, молибдена — с другой, в данном случае обуславливается тем, что рассеяние свинца происходило в связи с образованием как ранних кварцево-сульфидных жил, так и более поздних сульфидно-смолковых жил, тогда как уран и молибден рассеивались только в связи с образованием сульфидно-смолковых жил.

Интересные соотношения зон измененных пород с ореолами рассеяния установлены на месторождении, залегающем в гранитах. Как указывалось выше, в процессе формирования этого месторождения выделяется два этапа: высокотемпературный грейзеновый, образования которого представлены грейзенами, и гидротермальный, в течение которого сформировались урановые рудные тела.

Ореолы рассеяния урана, свинца, меди и цинка около урановых рудных тел этого месторождения обычно обладают гораздо большими размерами, чем зоны грейзенов и поэтому вмещают их в своих контурах (см. рис. 30, 31). При этом в пределах зон грейзенов устанавливаются более высокие концентрации рассеянных элементов, чем в незатронутых грейзенизацией гранитах (см. рис. 29, б, в). Вместе с тем сами грейзены в значительном удалении от рудных тел не несут рассеянной минерализации (см. рис. 29, а). Такие соотношения ореолов рассеяния и зон грейзенов, как показано выше, обуславливаются тем, что при грейзенизации не происходило привноса урана, свинца, молибдена, меди и цинка. Избирательная приуроченность повышенных концентраций этих элементов к грейзенам вблизи рудных тел связана с тем, что зоны грейзенов были более проницаемы для рудоносных растворов, чем вмещающие граниты.

Рассмотренный пример показателен в том отношении, что в данном случае зоны дорудного изменения по своим масштабам значительно уступают ореолам рассеяния. Материалы по изученным нами свинцово-цинковым месторождениям и по ряду урановых месторождений показывают, что такое соотношение в масштабах между зонами дорудного изменения и ореолами рассеяния является скорее исключением, чем правилом. Зоны дорудного изменения пород обычно имеют значительные размеры, близкие к ореолам рассеяния. По этому признаку их следует относить к изменениям первой группы.

Наблюдаемая пространственная связь ореолов рассеяния рудообразующих элементов с зонами дорудного изменения вмещающих пород обуславливается:

- а) унаследованностью путей циркуляции растворов в процессе формирования месторождений;
- б) увеличением проницаемости пород в результате дорудного изменения.

Известно, что при изменении пород, как правило, возрастает их пористость. Ю. А. Розанов (1961) указывает, что скарирование, альбитизация и серицитизация пород приводят к значительному увеличению их пористости. Величина пористости пород в общем случае отражает их проницаемость. Из всего этого следует, что дорудное изменение вмещающих пород подготавливает проницаемую среду, благоприятную для рассеивания рудообразующих химических элементов.

Подводя итоги далеко не полному рассмотрению соотношений эндогенных ореолов рассеяния с околорудными изменениями вмещающих пород, необходимо подчеркнуть следующее:

1. Эндеогенные ореолы рассеяния всегда пространственно связаны с околорудными изменениями и располагаются главным образом в пределах измененных пород. По масштабам своего распространения ореолы рассеяния обычно, за редким исключением, близки к зонам измененных пород.

2. Тесная пространственная связь эндогенных ореолов рассеяния с зонами измененных пород обуславливается следующими причинами: а) при дорудном изменении пород повышается их проницаемость, что способствует последующему рассеянию рудообразующих химических элементов; б) изменение пород в процессе рудоотложения и рассеяния рудообразующих элементов происходит в результате воздействия на породы одних и тех же растворов.

3. Связь эндогенных ореолов рассеяния с зонами измененных пород должна учитываться при геохимических исследованиях, особенно при выборе перспективных участков для поисков скрытых рудных тел и месторождений по ореолам рассеяния элементов. При этом следует иметь в виду то обстоятельство, что если ореолы рассеяния всегда пространственно связаны с зонами измененных пород, то зоны дорудного изменения могут и не сопровождаться ореолами рассеяния рудообразующих элементов.

ГЛАВА VII

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Изучение эндогенных ореолов рассеяния химических элементов, образующихся вокруг гидротермальных рудных тел, показывает, что их образование определяется в основном теми же факторами, что и образование самих рудных тел. Выяснение условий формирования рудных тел, как известно, является сложной задачей, которая, несмотря на значительное количество детально изученных месторождений, разрешена еще далеко не полно. Отсюда ясно, что выяснение условий образования эндогенных ореолов рассеяния, изучение которых только начато, является делом весьма трудным и сложным. Однако приступить к решению этой задачи необходимо, так как без правильного понимания генезиса эндогенных ореолов рассеяния будет затруднено их использование при поисково-разведочных работах и, в первую очередь, правильная оценка геохимических аномалий.

В настоящее время в целом накоплено уже много данных по эндогенным ореолам рассеяния. Однако генезис ореолов рассеяния изучен еще слабо. Нам кажется, что изложенный выше материал по эндогенным ореолам рассеяния свинцово-цинковых и урановых месторождений дает дополнительные данные и позволяет по-новому осветить некоторые вопросы генезиса ореолов рассеяния.

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

При рассмотрении распределения концентрации химических элементов в пределах ореолов рассеяния прежде всего обращает на себя внимание постепенное уменьшение содержания рассеянных химических элементов по мере удаления от рудных тел или рудоподводящих тектонических нарушений. Это указывает, что ореолы рассеяния образуются в результате миграции химических (рудообразующих) элементов от участков с их высокой концентрацией во вмещающие породы.

Как показал Д. С. Коржинский (1953), миграция химических элементов в горных породах может осуществляться только через растворы (жидкие или газообразные), и допущение о миграции элементов в гор-

ных породах в твердой фазе является теоретически несостоятельным.

При формировании ореолов рассеяния гидротермальных месторождений миграция большого числа химических элементов происходила в водных растворах, и только для некоторых элементов, обладающих высокой летучестью, есть основания предполагать миграцию их в газовой фазе.

Различаются два способа миграции элементов в горных породах:

а) диффузия элементов через неподвижные поровые растворы в сторону падения концентрации этих элементов в растворах;

б) инфильтрация элементов — перемещение элементов вместе с раствором, просачивающимся через породу по мелким трещинам, порам и т. п.

В природных условиях эти два способа миграции элементов всегда проявляются совместно. Просачивание растворов по трещинам всегда сопровождается диффузией элементов, входящих в состав растворов, в боковые породы. Очевидно, что в каждом отдельном случае можно говорить лишь о преобладании того или иного способа миграции элементов. Учитывая это преобладание, можно выделить два типа эндогенных ореолов рассеяния: «диффузионные» и «инфильтрационные».

Попытаемся кратко рассмотреть условия формирования ореолов рассеяния обоих типов.

Основным фактором, определяющим образование диффузионных ореолов рассеяния, является величина разности концентраций элементов в рудоносных растворах и в поровых растворах. Согласно закону Фика, масса компонента, проникающего путем диффузии через какое-либо сечение, пропорциональна градиенту концентраций этого компонента в направлении переноса. Кроме того, скорость диффузии различных элементов пропорциональна коэффициенту диффузии их ионов и зависит от температуры, давления, эффективной пористости, размера пор и т. п. С увеличением температуры возрастает скорость диффузии, а соответственно и расстояние, на которое диффундируют элементы. Все эти факторы в совокупности определяют размеры диффузионных ореолов рассеяния.

Градиенты концентрации (изменение концентрации на единицу расстояния) достигают значительных величин только в непосредственном контакте с трещинами, по которым просачиваются рудоносные растворы, и очень быстро (в геометрической прогрессии) падают с удалением от них. Теоретическая форма кривых диффузии — это логарифмические кривые. Вследствие быстрого уменьшения градиента концентрации химические элементы диффундируют на ограниченные расстояния от рудных трещин, и поэтому диффузионные ореолы рассеяния имеют незначительные размеры (метры и первые десятки метров).

При формировании инфильтрационных ореолов рассеяния главными факторами являются градиент давления, определяющий направление, скорость и масштабы просачивания растворов, а также пористость пород, которая определяется величиной эффективной пористости и степенью трещиноватости пород. Влияют также температура среды и концентрация элементов в просачивающихся растворах.

Форма инфильтрационных ореолов рассеяния определяется расположением зон трещиноватости и повышенной пористости во вмещающих породах и бывает довольно сложной, неправильной. Размеры их часто значительны вследствие просачивания растворов по трещинным зонам на большое расстояние.

При рассмотрении инфильтрационных ореолов рассеяния необходимо иметь в виду, что просачивание (инфильтрация) растворов по системам пор и тончайших трещин в породах качественно отличается от свободной циркуляции растворов по трещинам. При просачивании растворов через тонкопористые породы, размер большинства пор и

микротрещин в которых меньше $50 \cdot 10^{-7}$ см, проявляется фильтрационный эффект; сущность его заключается в задержке и отстаивании растворенного вещества от растворителя. Фильтрационный эффект различен для разных компонентов раствора, что приводит к дифференцированному перемещению растворенных компонентов при просачивании растворов через тонкопористые породы. Величина фильтрационного эффекта в таких тонкопористых породах может достигать 50% и более от всего количества растворенного вещества и зависит от ряда факторов.

Экспериментально установлено, что величина фильтрационного эффекта растет с увеличением радиуса фильтрующего гидратированного иона и давления и уменьшается с увеличением размера пор, температуры и концентрации раствора, а также с увеличением коэффициента диффузии иона (Овчинников, 1956).

Таковы общие представления о возможных путях образования эндогенных ореолов рассеяния химических элементов. Они широко распространены в геологической литературе (Сафронов, 1959; Муканов, 1957; Сауков, 1960 и др.).

СПОСОБЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Рассматривая генезис эндогенных ореолов рассеяния в нашем случае, прежде всего необходимо выяснить относительную роль диффузии и инфильтрации в формировании ореолов рассеяния, поскольку способ миграции элементов во многом определяет основные особенности ореолов рассеяния (размеры, концентрацию элементов и т. п.).

Способ миграции рассеивающихся элементов находит свое отражение прежде всего в распределении элементов в ореолах рассеяния. Данные по распределению элементов в ореолах рассеяния изученных нами свинцово-цинковых и урановых месторождений указывают на их существенные различия.

Ореолы рассеяния урана и элементов-спутников вокруг урановых рудных тел, как показано выше (см. рис. 16—19, 22—28, 30, 31), имеют значительные размеры и в общем симметричное строение, обусловленное постепенным уменьшением концентраций рассеянных элементов по мере удаления от рудных тел. Однако рассмотрение распределения рассеянных элементов в деталях указывает на то, что в пределах ореолов элементы распределены весьма неравномерно (см. рис. 20). Форма кривых рассеяния элементов около урановых рудных тел очень сложная, с многочисленными пиками и провалами вплоть до фоновых содержаний. Высокие концентрации урана и элементов-спутников устанавливаются в многочисленных мелких трещинах, широко развитых во вмещающих породах. Особенно резко содержание урана и элементов-спутников возрастает в материале трещин, сопровождаемых покраснением пород. В монолитных породах в пределах ореола часто устанавливаются низкие, близкие к фоновым концентрации рассеянных элементов.

Результаты детального опробования пород около отдельных мелких рудоносных трещин (рис. 38, 39) определенно указывают на то, что рассеяние урана и элементов-спутников происходит в стороны от таких трещин. Характерно, что содержание урана в породах по сравнению с содержанием в материале трещин уменьшается более резко, чем содержание свинца и молибдена. По форме кривые рассеяния урана, свинца, молибдена и других элементов-спутников около мелких рудоносных трещин сходны. Обычно это сложные ломаные линии с отдельными пиками и спадами, реже это почти прямые линии (в полулогарифмической системе координат) с довольно крутым наклоном в стороны от трещин. В целом кривые рассеяния около трещин относительно близки к нормальным логарифмическим кривым. Такая форма

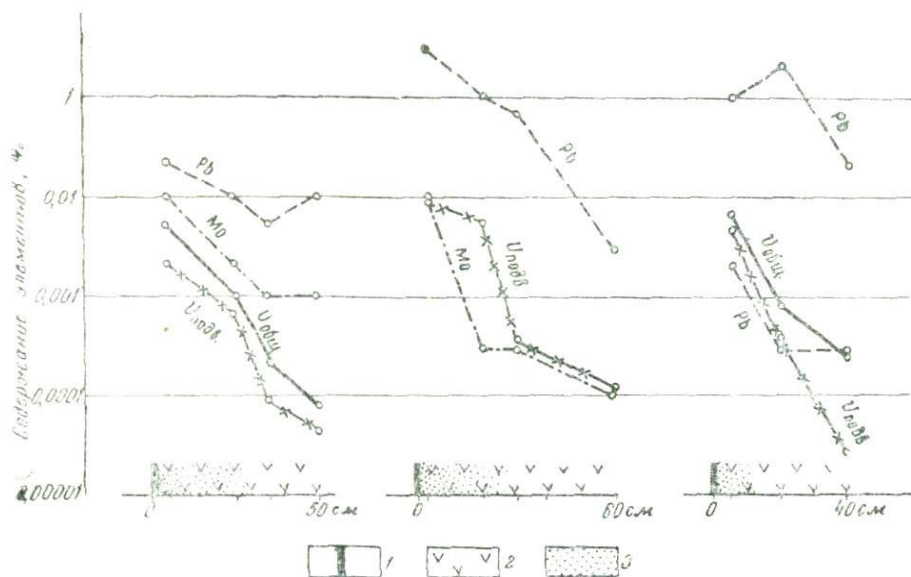


Рис. 38. Графики распределения урана, свинца и молибдена около рудных жил на месторождении, залегающем в кислых эффузивах
 1 — рудные тела; 2 — осветленные кварцевые порфиры; 3 — покрасневшие породы

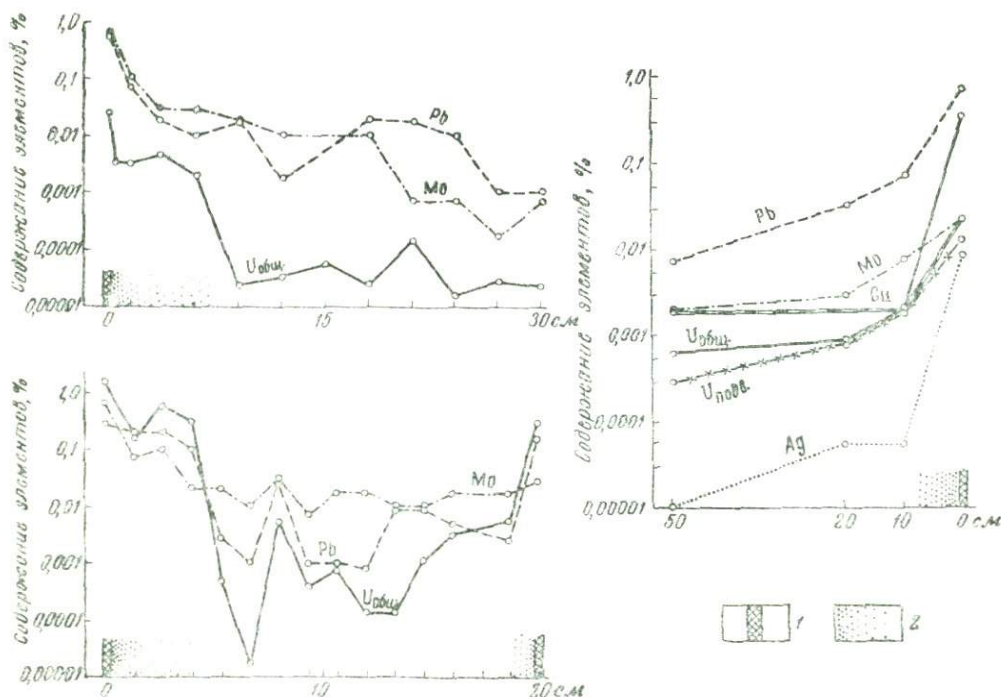


Рис. 39. Графики распределения урана, свинца, молибдена и других элементов около рудоносных трещин
 1 — рудоносные трещины; 2 — покрасневшие породы

кривых дает основание предполагать, что рассеяние урана и элементов-спутников около трещин происходило в основном путем диффузии.

Судя по наклону кривых рассеяния, химические элементы диффундировали во вмещающие породы на незначительные расстояния, не превышающие долей метра — первых метров (см. рис. 38, 39). Поэтому большие размеры ореолов рассеяния около урановых рудных тел не могут быть обязаны диффузионному проникновению элементов в породы, а обуславливаются наличием зон мелкой трещиноватости, расположенных около относительно крупных рудовмещающих нарушений.

Резко выраженная неравномерность в распределении урана и элементов-спутников в пределах ореолов, приуроченность повышенных концентраций их к трещинам, а также значительные размеры ореолов — все это указывает на ведущую роль просачивания (инфильтрации) в рассеянии элементов на изученных нами урановых месторождениях. Диффузия имела явно подчиненное значение при этом. Отсюда также следует, что ореолы рассеяния урановых месторождений близки к инфильтрационным.

Ореолы рассеяния на изученных свинцово-цинковых месторождениях распространяются в слаботрещиноватых относительно монолитных породах, и поэтому трещиноватость не играет такой существенной роли в распределении элементов в пределах ореолов, как это наблюдается на урановых месторождениях. В результате, распределение элементов в пределах ореолов рассеяния свинцово-цинковых месторождений и в деталях более равномерное, чем в пределах ореолов рассеяния урановых месторождений.

Для ореолов рассеяния вокруг крутопадающих рудных тел (см. рис. 3—6) характерно симметричное строение с постепенным уменьшением концентраций рассеянных элементов по мере удаления от рудного тела. Форма кривых рассеяния элементов около крутопадающих тел сложная, но как показано выше, при объединении нескольких проб в одну на графиках (см. рис. 7, 9) были получены прямые линии (в полулогарифмической системе координат). Последнее указывает, что закономерность убывания содержания свинца, цинка, меди и, видимо, других элементов в сторону от рудных тел в общем близка к логарифмической. Все это позволяет утверждать, что рассеяние элементов в стороны от крутопадающих свинцово-цинковых тел происходило в основном путем их диффузии. Вместе с тем такие особенности изученных ореолов рассеяния, как распространение их на значительные расстояния над рудными телами, наличие сильно вытянутых полей ореолов высокой интенсивности в удалении от рудных тел, могут обуславливаться только просачиванием растворов. Таким образом, и здесь при формировании ореолов рассеяния около крутопадающих рудных тел широко проявилась инфильтрация. В отличие от урановых месторождений просачивание растворов здесь проходило, очевидно, не только по открытым каналам — трещинам, а главным образом — по зонам высокой пористости и микротрещиноватости.

Ореолы рассеяния, развивающиеся вокруг пологозалегающих рудных тел (см. рис. 12, 13), отличаются от ореолов рассеяния около крутопадающих тел прежде всего гораздо большей вытянутостью в плоскости залегания рудных тел, а также более неравномерным распределением концентрации элементов в ореолах. Для них характерно наличие в вертикальном разрезе, в удалении от рудных тел, вытянутых на значительные расстояния, полей с высокой концентрацией рассеянных элементов. Такие особенности ореолов рассеяния могут быть связаны только с послойным растеканием — просачиванием гидротермальных растворов. Очевидно, в пределах толщи скарированных конгломератов имелись более проницаемые горизонты, которые и определяли пути просачивания растворов. Диффузия элементов при образовании

ореолов рассеяния вокруг пологозалегающих тел, судя по распределению элементов в ореолах (см. рис. 14), имела подчиненное значение.

Проведенное изучение способов миграции элементов при образовании ореолов рассеяния на изученных нами месторождениях убедительно свидетельствует, что ведущим способом миграции на всех месторождениях было просачивание (инфильтрация) растворов, диффузия элементов через поровые растворы имела подчиненное значение. Только на свинцово-цинковых месторождениях с крутопадающими рудными телами диффузия играла более существенную роль при рассеянии элементов, чем на свинцово-цинковых месторождениях с пологозалегающими рудными телами и на урановых месторождениях.

Существенное различие в формировании ореолов рассеяния на свинцово-цинковых и урановых месторождениях состоит в том, что в рассеянии элементов на свинцово-цинковых месторождениях трещиноватость не имела такого большого значения, как на урановых. Уменьшение относительной роли трещин в рассеянии элементов на свинцово-цинковых месторождениях обусловлено прежде всего тем, что эти месторождения были сформированы в условиях больших глубин и более высоких температур, чем урановые месторождения.

Известно, что с глубиной количество трещин в породах уменьшается. С другой стороны, с ростом температуры уменьшается вязкость водных растворов, что повышает способность растворов к просачиванию через горные породы по системам пор и тончайших трещин в них.

Кроме того, необходимо отметить, что если рудные тела на изученных нами свинцово-цинковых месторождениях являются метасоматическими, то на урановых месторождениях рудные тела образовались в основном путем выполнения полостей. Учитывая это, нетрудно видеть, что способ образования рудных тел не оказывает существенного влияния на способ миграции элементов при их рассеянии.

Таким образом, можно утверждать, что преобладание инфильтрации над диффузией при рассеянии элементов имеет характер общей закономерности для гидротермальных месторождений. Этот вывод согласуется с высказываниями К. М. Муканова и Г. И. Россмана (1960) об относительной роли инфильтрации и диффузии элементов при их рассеянии.

Говоря о способах миграции элементов при образовании ореолов рассеяния, необходимо учитывать, что наряду с миграцией элементов в водных растворах, просачивающихся или застойных поровых, перенос некоторых элементов мог происходить и в газовой фазе. Имея в виду определенную тенденцию мышьяка и сурьмы концентрироваться в повышенных количествах в надрудной толще изученных нами свинцово-цинковых месторождений, а также высокую летучесть соединений этих элементов, есть основания предполагать, что мышьяк и сурьма рассеивались в основном в газовой фазе. Широкое распространение зон пиритизации и осветления пород над урановыми рудными телами месторождения в кислых эффузивах позволяет высказать аналогичное предположение и в отношении способа переноса серы.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Знание способов миграции элементов при их рассеянии помогает оценить относительную роль отдельных факторов в формировании ореолов. Среди факторов, влияющих на формирование ореолов рассеяния, следует выделить две группы:

- а) литолого-структурные;
- б) геохимические.

Роль литолого-структурных факторов в формировании ореолов рассеяния очевидна. Структурные условия определяют пространственное положение ореолов рассеяния и во многом их размеры, морфологию. Это положение наглядно иллюстрируется сравнением ореолов рассеяния, развивающихся около крутопадающих и пологозалегающих свинцово-цинковых рудных тел (см. рис. 3, 4 и 12, 13). Тектонические нарушения, контролирующие расположение месторождений и отдельных рудных тел, определяют и пространственное положение ореолов рассеяния, развивающихся около месторождений и рудных тел.

На первичное рассеяние элементов большое влияние будут оказывать как физико-механические свойства пород (пористость и т. д.), так и химические (состав пород). Эффективная (открытая) пористость пород наряду с их трещиноватостью определяет проницаемость пород. Учитывая определяющую роль просачивания в рассеянии элементов, нетрудно прийти к выводу, что размеры и конфигурация ореолов рассеяния во многом будет определяться проницаемостью пород. «Чем больше проницаемость пород, тем дальше от рудного тела, при прочих равных условиях, будут мигрировать рудные компоненты» (Розанов, 1961). Влияние состава пород на рассеяние элементов будет проявляться в химическом воздействии пород на просачивающиеся через них растворы. Очевидно, что в породах химически инертных по отношению к растворам рассеяние элементов будет происходить на большие расстояния, чем в породах химически активных.

Влияние литологического фактора на рассеяние элементов отчетливо проявится в толще, сложенной разнородными породами. Поскольку изученные нами месторождения залегают в относительно однородных породах, то на этих месторождениях влияние литологии на рассеяние элементов проявлено слабо. Как пример такого влияния, может рассматриваться тесная пространственная связь ореолов рассеяния с зонами дорудного изменения пород. На месторождении, залегающем в кислых эффузивах, в пределах горизонта фильзитов, залегающих среди туфов кварцевых порфиров, наблюдалось резкое уменьшение размеров и интенсивности ореолов рассеяния урана и элементов-спутников. Это обуславливается тем, что фильзиты имеют меньшую пористость и поэтому менее проницаемы, чем вмещающие их туфы.

Роль геохимических факторов в формировании ореолов рассеяния многообразна. Среди них, согласно с А. Е. Ферсманом (1934), мы будем выделять внешние факторы, определяющие физико-химическое состояние системы, в которой происходит рассеяние элементов (давление, температура, концентрация элементов в растворах и т. д.), и внутренние факторы, которые определяются свойствами самих рассеивающихся элементов (ионные радиусы, удельные веса, химические свойства и т. п.).

Большое влияние на рассеяние элементов должна оказывать концентрация элементов в гидротермальных рудообразующих растворах. Учитывая то обстоятельство, что ореолы рассеяния создаются как «следствие общей тенденции к выравниванию потенциалов в результате миграции элементов из пунктов с их высокой концентрацией в направлении мест с более низкими концентрациями» (Сауков, 1960), нетрудно видеть, что рассеяние элементов во многом будет определяться относительной разностью концентраций элементов в просачивающихся гидротермальных растворах и в поровых растворах вмещающих пород.

Поровые растворы находятся в химическом равновесии с минералами пород, т. е. концентрация элементов в них прямо зависит от содержания этих элементов в породе. Аналогичную, хотя и более сложную зависимость можно допустить между содержанием элементов в гидротермальных рудообразующих растворах и в руде. Если эти допущения верны, то отсюда следует, что содержание соответствующих элементов

в рудах и вмещающих породах может служить приближенным, но объективным показателем относительных концентраций этих элементов в гидротермальных рудообразующих растворах и в поровых растворах пород.

Для оценки относительной разности содержаний элементов в руде и во вмещающих породах можно использовать понятие «коэффициента концентраций», введенное в свое время А. Е. Ферсманом (1934), понимаемая под ним, в отличие от А. Е. Ферсмана, отношение среднего содержания элемента в руде не к кларку элемента для земной коры в целом, а к величине геохимического фона элемента для соответствующих вмещающих пород.

На изученных нами свинцово-цинковых месторождениях коэффициент концентрации свинца равен 400—600, цинка — 150—300, серебра — 40—70, меди — 10—15. Коэффициент концентрации мышьяка, кадмия, висмута и сурьмы не установлен ввиду низкой чувствительности спектральных анализов на эти элементы и отсутствия объективных данных по их геохимическому фону. Элементы с установленным коэффициентом концентрации можно также расположить в следующий эмпирический ряд по мере убывания размеров и интенсивности ореолов рассеяния: Zn, Pb, Ag, Cu (см. рис. 3, 4, 5, 6). Сравнение этого ряда с величиной коэффициента концентрации элементов определенно показывает, что элементы, имеющие высокие коэффициенты концентраций (Pb, Zn), рассеиваются более широко и интенсивно, чем элементы с низкими коэффициентами концентраций (Ag, Cu). Зависимость ширины ореолов от концентраций элемента в рудном теле и от величины его геохимического фона наглядно отражена на рис. 7, 8. Чем выше концентрация элемента в рудном теле и чем ниже его геохимический фон, тем шире его ореол рассеяния. На некотором несоответствии относительных размеров ореолов рассеяния свинца и цинка с величиной коэффициентов их концентраций, которое связано с их физико-химическими свойствами, остановимся ниже.

Аналогичная зависимость между масштабами рассеяния рудных элементов и величиной коэффициентов их концентрации установлена и на изученных нами урановых месторождениях. Данные о величинах коэффициентов концентрации урана, свинца и молибдена на месторождениях, залегающих в кислых эффузивах, гранитах и граносиенитах, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Таблица данных по коэффициентам концентрации для разных месторождений

Элементы	Коэффициенты концентраций		
	Месторождение, залегающее в кислых эффузивах	Месторождение, залегающее в гранитах	Месторождение, залегающее в граносиенитах
Уран	370	160	350
Свинец	220	70	100
Молибден	100	30	200

С величинами коэффициентов концентрации урана, свинца и молибдена хорошо согласуются размеры и интенсивность ореолов рассеяния этих элементов. Действительно, наиболее широкие и интенсивные ореолы рассеяния образуют уран. Ореолы рассеяния свинца по своим размерам и интенсивности превосходят ореолы молибдена, но уступают ореолам урана. Отмеченная зависимость отчетливо проявляется и при сравнении отдельных месторождений.

Как следует из табл. 10, коэффициенты концентрации урана, свинца и молибдена на месторождении, залегающем в гранитах, по своей величине значительно уступают коэффициентам концентрации этих элементов на месторождениях, залегающем в кислых эффузивах. Сравнение ореолов рассеяния, установленных на этих месторождениях, показывает, что ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена на месторождении, залегающем в гранитах, при прочих равных условиях имеют меньшие размеры и содержат более низкие концентрации элементов, чем соответствующие ореолы на месторождении, залегающем в кислых эффузивах.

В рудах месторождения, залегающего в граносиенитах (описание его не приведено в настоящей работе), установлены повышенные содержания молибдена. Соответственно возрастают и относительные размеры ореолов рассеяния молибдена и концентрация молибдена в них. На другом изученном нами урановом месторождении, в рудах которого содержатся значительные количества сфалерита, развиваются широкие ореолы рассеяния цинка высокой интенсивности.

Весь приведенный выше материал подтверждает влияние фактора концентрации элементов в рудообразующих растворах на их рассеяние и приводит к следующему выводу: *размеры эндогенных ореолов рассеяния, развивающихся около рудных тел, и концентрация рассеянных элементов в них при прочих равных условиях находятся в прямой зависимости от концентрации соответствующих элементов в рудных телах.*

Эта зависимость иногда плохо выражена для элементов, обладающих высокой летучестью (мышьяка, сурьмы и др.).

Существующая зависимость между параметрами ореолов рассеяния соответствующих элементов и содержанием их в рудах отражает проявление закона действующих масс в рассеянии элементов.

Размеры ореолов рассеяния, как показывает опыт их изучения, зависят и от размеров рудных тел. Эта зависимость отчетливо выступает при сравнении свинцово-цинковых месторождений с крутопадающими телами. Около относительно крупных рудных тел, выходящих на поверхность, развиваются более широкие ореолы рассеяния, чем около мелких скрытых рудных тел. Среди изученных нами урановых месторождений наглядным примером отмеченной зависимости является месторождение, залегающее в кислых эффузивах. На этом месторождении ореолы рассеяния, развивающиеся около группы рудных тел зон «Новых», по своим размерам в несколько раз превышают ореолы рассеяния около отдельного рудного тела. Протяженность ореолов рассеяния над мелкими рудными телами на данном месторождении не превышает 40—60 м, тогда как над более крупными рудными телами ореолы рассеяния устанавливаются на расстоянии 150 м и выше.

Существующая зависимость между размерами рудных тел и размерами развивающихся вокруг них ореолов рассеяния показывает, что параметры ореолов рассеяния зависят не только от концентрации элементов в растворах, но, по-видимому, и от общего количества гидротермальных растворов, участвующих в процессе рудообразования. В общем случае можно допустить, что количество рудообразующих растворов, проникших в участки рудоотложения, отразится на размерах рудных тел.

Зависимость параметров эндогенных ореолов рассеяния (их размеров, концентрации рассеянных элементов в них) от параметров рудных тел (размеров, концентрации элементов в них) подчеркивалась рядом исследователей на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что это положение справедливо для рудных тел одного и того же генетического типа, находящихся в сходных геологи-

ческих условиях. Так, размеры ореолов рассеяния, развивающихся около равновеликих рудных тел, залегающих в породах различной проницаемости, будут различны. Ореолы рассеяния около рудных тел в пористых или трещиноватых породах будут превышать по размерам ореолы рассеяния, развивающиеся около аналогичных рудных тел в плотных нетрещиноватых породах.

На зависимость между параметрами рудных тел и образующихся около них ореолов рассеяния большое влияние оказывают структурные условия локализации рудных тел. Вокруг рудных тел, представленных прожилковыми зонами, как правило, устанавливаются большие по размерам интенсивные ореолы рассеяния, тогда как около крупных жильных тел, образованных путем выполнения крупных трещин, наблюдались очень незначительные по размерам ореолы рассеяния. Все это говорит за то, что установленная зависимость между параметрами рудных тел и развивающихся около них ореолов рассеяния может успешно использоваться для оценки геохимических аномалий только при условии учета других геологических факторов, в особенности литолого-структурных особенностей локализации рудных тел.

На параметры образующихся ореолов рассеяния большое влияние оказывают и другие факторы.

Большую роль в рассеянии элементов играют температура и давление, которые являются наряду с концентрацией важнейшими константами равновесия. С повышением температуры возрастает способность элементов к рассеянию. Это обуславливается рядом причин. Во-первых, температура влияет на вязкость водных растворов, а отсюда и на их способность к просачиванию по системам пор и тончайших трещин в горных породах. Известно, что с повышением температуры вязкость растворов резко уменьшается. Коэффициент динамической вязкости воды (в сантипуазах) при 50° равен 0,550, при 100° —0,282 и при 150° —0,184 («Краткий справочник химика», 1956). Отсюда понятно, почему в условиях высоких температур водные растворы способны просачиваться по зонам тонкой пористости и очень мелкой трещиноватости, тогда как при низких температурах движение растворов ограничивается в основном открытыми каналами — трещинами. Во-вторых, с повышением температуры возрастает скорость диффузии компонентов в растворах. Это находит свое отражение в увеличении коэффициентов диффузии ионов с увеличением температуры. По данным Гаррельса (Gargels, 1949), при увеличении температуры от 25 до 100° коэффициент диффузии ряда ионов (K^{+} , Ag^{+} , Ba^{2+} и др.) возрастает в 2—3 раза. В-третьих, с повышением температуры возрастает давление насыщенных паров для каждого химического соединения, а в связи с этим увеличивается относительная роль летучих при рассеянии элементов.

Роль давления в образовании ореолов рассеяния определяется прежде всего тем, что «движение гидротермальных растворов вдоль раскрывающихся трещин или ослабленных зон трещиноватости может происходить в том случае, если в силу тех или иных причин создается разность давлений» (Бетехтин, 1953). Растворы движутся из зон с высоким давлением в зоны, где давление ослаблено. Чем больше разница в давлениях в различных зонах, тем выше скорость движения растворов между ними. Главной причиной перепада давлений, обуславливающей движение растворов, очевидно, являются тектонические напряжения. В условиях формирования гидротермальных месторождений происходит в основном поступательное восходящее движение растворов из глубинных областей в близповерхностные. Данные изучения ореолов рассеяния хорошо подтверждают это. Как показано выше, ореолы рассеяния около крутопадающих рудных тел значительно вытянуты по вертикали при относительно малых размерах в горизонтальном направ-

лении, при этом вверх по восстанию, по мере удаления от рудных тел, интенсивность ореолов рассеяния постепенно уменьшается до полного их затухания.

Величина внешнего давления во многом определяет миграцию компонентов в газовой фазе, поскольку растворимость легколетучих соединений в водных растворах зависит от величины внешнего давления. При этом влияние давления на растворимость легколетучих соединений более существенно, чем влияние температуры. С уменьшением внешнего давления растворимость летучих соединений в водных растворах уменьшается, и они переходят в газовую фазу. Поскольку величина внешнего давления прежде всего определяется глубиной образования месторождений, то следует ожидать, что с уменьшением глубины рудообразования должна возрастать относительная роль летучих при рассеянии элементов. Подтверждение этому можно видеть на примере гидротермальных процессов в областях современного вулканизма. Для последних установлено, что в восходящих гидротермальных растворах при достижении ими определенных глубин (200 м и более) происходит интенсивное парообразование с отделением углекислоты и сероводорода из растворов (Аверьев, Набоко и Пийп, 1961).

В условиях образования гидротермальных месторождений, особенно на малых глубинах, резкое уменьшение внешнего давления происходит при трещинообразовании и при открывании трещин. Это должно вызвать выделение летучих соединений из движущихся гидротермальных растворов и отгонку их за пределы образующихся рудных тел.

Учитывая высказанные выше соображения о влиянии температуры и давления на рассеяние элементов, нетрудно видеть, что некоторые различия в рассеянии элементов на изученных нами свинцово-цинковых и урановых месторождениях обуславливаются тем, что они сформировались в условиях различных глубин и температур. Так, более широкое диффузионное рассеяние элементов на свинцово-цинковых месторождениях по сравнению с таковыми на урановых месторождениях, а также меньшее значение крупной трещиноватости в рассеивании элементов на свинцово-цинковых месторождениях по сравнению с урановыми обуславливается наряду с влиянием других факторов более высокой температурой образования свинцово-цинковых месторождений по сравнению с урановыми.

Определенное влияние на рассеяние элементов должны оказывать кислотность-щелочность гидротермальных растворов, а также окислительно-восстановительная обстановка. Однако полученные на изученных нами месторождениях данные не позволяют оценить влияние этих факторов.

Способность элементов к рассеянию во многом определяется и свойствами самих элементов (внутренними факторами, по А. Е. Ферману). Эта зависимость, в частности, должна быть отчетливо проявлена в диффузионных ореолах рассеяния, поскольку на скорость диффузии элементов и на размеры диффузионных ореолов влияет величина коэффициента диффузии соответствующих ионов. Экспериментально установлены коэффициенты диффузии ионов лишь некоторых интересующих нас элементов и только для температуры 25° (Garrels, 1949).

Привлечение даже этих отрывочных данных для оценки влияния свойств элементов на их диффузивное рассеяние затруднено тем, что величины коэффициентов диффузии ионов значительно возрастают с увеличением температуры. К тому же форма переноса многих элементов (например, урана, молибдена) в гидротермальных растворах остается невыясненной.

Вместе с тем данные изучения ореолов рассеяния позволяют предполагать существенное влияние свойств элементов на размеры их диф-

фузионных ореолов. В частности, как указывалось выше, при описании ореолов рассеяния около крутопадающих свинцово-цинковых тел, относительная крутизна линий соответствующих элементов на графиках распределения их содержаний отражает относительную подвижность элементов в процессе диффузионного рассеяния (см. рис. 7, 8). Линии цинка и меди на этих графиках несколько более пологи, чем линии свинца, что указывает на большую проникающую способность цинка и меди по сравнению со свинцом в процессе диффузии. Одинаковая подвижность цинка и меди согласуется с величиной коэффициентов диффузии их ионов ($\text{Cu}^{2+} - 0,64$, $\text{Zn}^{2+} - 0,63$ при 25°). Меньшая подвижность свинца, по-видимому, обуславливается более крупным размером ионов свинца по сравнению с ионами меди и цинка ($\text{Ri Pb}^{2+} - 1,26 \text{ \AA}$, $\text{Ri Zn}^{2+} - 0,83 \text{ \AA}$ и $\text{Ri Cu}^{2+} - 0,80 \text{ \AA}$).

Многие исследователи придают большое значение величине ионных радиусов как важному фактору миграции элементов. К. М. Муканов и Г. И. Россман (1960), допуская большое влияние фильтрационного эффекта на формирование ореолов рассеяния, связывают подвижность элементов в процессе их рассеяния с величиной радиусов их ионов. Однако, как указывают эти авторы, различные масштабы рассеяния элементов хорошо согласуются с величиной относительной концентрации элементов в рудных залежах. Учитывая, что концентрация элементов в рудоносных растворах может отличаться в десятки-сотни раз, а величины ионных радиусов рудообразующих элементов изменяются в несравненно более узких пределах (обычно не более чем в два раза), следует считать, что влияние величины ионных радиусов элементов на их рассеяние подчинено влиянию концентрации элементов в растворах.

Более очевидно влияние на рассеяние некоторых компонентов упругости их паров (летучести). Роль летучести элемента в его рассеянии убедительно показана рядом исследователей на примере ртути (Сауков, 1946; Вершковская, 1956; Фурсов, 1958 и др.).

Особенности распределения мышьяка и сурьмы в ореолах рассеяния около изученных нами рудных тел свинцово-цинковых месторождений можно объяснить, учитывая высокую летучесть соединений этих элементов. На месторождении, залегающем в кислых эффузивах, осветленные и пиритизированные породы, которые, как указывалось выше, фиксируют собой ореолы рассеяния серы, широко распространяются над рудными телами и резко выклиниваются ниже их. Такое положение зон осветления и пиритизации относительно рудных тел также следует связывать с высокой летучестью сероводорода.

Летучесть элементов и их соединений определяет возможность миграции их в водных растворах или в газовой фазе. Очевидно, при прочих равных условиях более летучие элементы будут больше рассеиваться в газовой фазе, чем труднолетучие. Влияние летучести на рассеивание можно ожидать не только для ртути, мышьяка, сурьмы и серы, но и для таких элементов, как фтор, бор, висмут, таллий, селен, теллур, молибден, многие соединения которых легко летучи. Рассеяние элементов в газовой фазе, а следовательно, и размеры ореолов, образующихся в результате такого рассеяния, сильно зависят от внешних условий и прежде всего от давления и температуры.

Таким образом, высказанные выше соображения о влиянии различных факторов на образование эндогенных ореолов рассеяния гидротермальных рудных месторождений позволяют сделать следующий вывод.

Поскольку эндогенные ореолы рассеяния имеют сложный генезис, обусловленный проявлением в процессе рассеяния нескольких способов миграции элементов, все отмеченные выше факторы будут влиять на рассеяние элементов, и в совокупности все они будут определять раз-

меры и интенсивность ореолов рассеяния. При этом наряду с литолого-структурными факторами ведущими в образовании ореолов рассеяния являются внешние геохимические факторы (концентрация элементов в рудоносных гидротермальных растворах, температура, давление и т. п.). Из внутренних геохимических факторов на рассеяние некоторых элементов (ртути, мышьяка, сурьмы, серы и др.) важное влияние оказывает высокая летучесть самих элементов или их соединений.

Рассматривая эндогенные ореолы рассеяния элементов, развивающиеся около крутопадающих рудных тел, нельзя не обратить внимания на их факеловидную форму, которая обуславливается тем, что ореолы рассеяния большинства элементов достигают максимальной ширины и интенсивности на уровне верхних частей рудных тел и распространяются на значительные расстояния над ними, а ниже рудных тел ширина и интенсивность ореолов резко уменьшается. Ореолы рассеяния такой формы установлены на всех изученных нами свинцово-цинковых и урановых месторождениях. Факеловидная форма ореолов рассеяния определенно указывает на то, что наиболее интенсивное рассеяние элементов происходило от участков рудоотложения, тогда как в стороны от рудоподводящих каналов элементы рассеивались очень слабо.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Одной из важных особенностей строения эндогенных ореолов рассеяния является их зональность, которая проявляется в различном рассеянии элементов в надрудной и подрудной толщах пород. Вертикальная зональность в строении ореолов рассеяния находит свое отражение в различии величин отношений средних содержаний элементов в ореолах рассеяния в надрудной и подрудной толщах пород. Признавая, что ореолы рассеяния, развивающиеся около рудных тел, образуются одновременно с рудными телами, зональность ореолов рассеяния следует относить к зональности отложения, как ее понимает Ю. А. Билибин (1951).

На изученных нами свинцово-цинковых месторождениях вертикальная зональность в строении ореолов рассеяния обуславливается преимущественным (по сравнению с другими элементами) развитием ореолов мышьяка над рудными телами. Это количественно выражается в резком увеличении величин отношений среднего содержания мышьяка в ореоле к средним содержаниям свинца, цинка и серебра в надрудных сечениях по сравнению с этими величинами на уровне рудных тел и под ними (см. рис. 11). На изученных урановых месторождениях вертикальная зональность в строении ореолов проявляется в том, что ореолы рассеяния свинца, молибдена и других элементов-спутников наиболее интенсивны выше рудных тел, тогда как уран рассеивается примерно одинаково как выше рудных тел, так на уровне и ниже их. Это количественно выражается в увеличении величин отношений средних содержаний свинца и молибдена в ореолах к среднему содержанию урана в сечениях выше рудных тел по сравнению с величинами отношений на уровне рудных тел и особенно — ниже их (см. рис. 5, 6, 28, 32).

Выяснение причин зонального распределения элементов в ореолах рассеяния представляет собой сложную задачу, которая далеко не во всех случаях может быть решена однозначно.

Некоторые исследователи видят причину зонального строения ореолов во влиянии на рассеяние элементов фильтрационного эффекта и размера радиусов ионов. Так, Г. И. Россман (1960) утверждает, что зональное распределение элементов в ореоле рассеяния Николаевского колчеданно-полиметаллического месторождения обязано фильтрационному эффекту. К внутренней зоне ореола тяготеют элементы с большим радиусом иона Pb, Ba, Ag, Bi, Sb; к внешней — элементы с малым

радиусом иона Zn, Cu и Mo. При этом Г. И. Россманом учитываются величины радиусов обычных ионов, тогда как экспериментально (Овчинников, 1956) установлено, что величина фильтрационного эффекта прямо пропорциональна радиусу гидратированного иона. Если рассмотреть известные данные (Овчинников, 1960) по величинам гидратированных ионов отмеченных элементов (Pb^{2+} —2,58 Å, Cu^{2+} —3,35 Å, Zn^{2+} —3,42 Å, Bi^{3+} —3,86 Å, Sb^{3+} —4,52 Å, Mo^{4+} —4,91 Å), то нетрудно видеть, что фильтрационный эффект и величины ионных радиусов не могут быть приняты для объяснения зонального строения ореолов Николаевского месторождения.

Вместе с тем очевидно, что распределение элементов в ореоле данного месторождения зависит от их концентрации в рудном теле. Главные компоненты руд (Cu, Zn) рассеиваются на большие расстояния, чем второстепенные компоненты (Pb, Ba, Ag, Bi, Sb), которые устанавливаются преимущественно во внутренней зоне ореола. Исключение из этой зависимости составляет только молибден. Преимущественное рассеяние его во внешней зоне ореола, по-видимому, следует связывать с высокой летучестью некоторых его галонидных соединений.

Такая переоценка влияния величины ионных радиусов на образование ореолов рассеяния свидетельствует о неправильном понимании особенностей проявления фильтрационного эффекта в геологии. Известно, что фильтрационный эффект заметно проявляется только при просачивании растворов через такие тонкопористые породы, размеры большинства пор в которых меньше $50 \cdot 10^{-7}$ см (Овчинников, 1956), т. е. близок к размеру фильтрующихся ионов. При просачивании растворов через породы, имеющие более крупные поры, и тем более через зоны трещиноватости, расщелачивания и дробления фильтрационный эффект будет проявляться слабо.

Весь фактический материал по ореолам рассеяния около гидротермальных рудных тел свидетельствует о ведущей роли проницаемости пород в образовании ореолов рассеяния. Ореолы рассеяния элементов обычно проявляются в трещиноватых породах, в породах с повышенной открытой пористостью, т. е. в таких высокопроницаемых зонах, в которых трудно ожидать заметного проявления фильтрационного эффекта.

Учитывая, что способность растворов к просачиванию через тонкопористые породы увеличивается с ростом температуры, следует ожидать, что фильтрационного эффекта в формировании ореолов рассеяния на высокотемпературных гидротермальных месторождениях будет более значительной, чем на среднетемпературных и низкотемпературных месторождениях. Очевидно, что на изученных нами урановых месторождениях, где рассеяние элементов происходило в основном путем просачивания растворов по трещинам, влияние фильтрационного эффекта было очень слабым. Поэтому, признавая большое значение фильтрационного эффекта в геологии, на которое указывает в своих работах Д. С. Коржинский (1953, 1957), следует считать, что в условиях образования низкотемпературных и среднетемпературных гидротермальных месторождений влияние фильтрационного эффекта на рассеяние элементов крайне незначительно и подчинено влиянию концентраций элементов в растворах. Отсюда также вытекает, что фильтрационный эффект не может быть причиной зонального строения ореолов рассеяния. Эти причины следует искать в другом.

Для изученных нами свинцово-цинковых месторождений причины зонального строения ореолов ясны. Образование «шапок» мышьяка и сурьмы над рудными телами связано, как уже неоднократно подчеркивалось выше, с высокой летучестью соединений этих элементов. Аналогичные надрудные «шапки» мышьяка и сурьмы устанавливаются и на других гидротермальных месторождениях. Рассеяние мышьяка только висячем боку рудного тела одного из алтайских полиметаллических

месторождений отмечал Г. И. Россман (1957). Н. И. Сафронов, В. В. Поликарпочкин, М. Н. Трушков (1960), описывая эндогенные ореолы рассеяния, развивающиеся около низкотемпературных золоторудных тел, указывают, что мышьяк и сурьма образуют широкие и интенсивные ореолы рассеяния над рудными телами, тогда как золото, медь и серебро рассеиваются около рудных тел относительно равномерно. «Шапки» мышьяка и таллия были установлены над низкотемпературными урановыми рудными телами.

Менее очевидны причины зонального строения ореолов рассеяния урановых месторождений. Из рудных элементов, рассеивающихся преимущественно над рудными телами, только для молибдена известны относительно легко летучие соединения.

Нам кажется, что причины преимущественного развития свинца, молибдена и других элементов в верхних надрудных частях ореолов следует искать в следующем. Свинец, молибден и другие элементы (за исключением урана) находятся в ореолах рассеяния в виде сульфидов. На месторождении, залегающем в кислых эффузивах, установлено, что пирит, встречающийся в виде вкрапленный во вмещающих породах, замещается галенитом, а также сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой, молибденитом; в выделениях галенита часто наблюдаются реликты пирита. Такие взаимоотношения галенита и других минералов с пиритом определенно указывают на то, что выпадение свинца, молибдена, цинка и меди из поровых растворов происходило в условиях недостатка анионов двухвалентной серы в растворах. Сера была привнесена в породу еще до проникновения сюда свинца и других элементов-спутников и находилась здесь в связанном состоянии, в составе пирита. Учитывая, что образование зон осветленных и пиритизированных пород на этом месторождении, судя по всем данным, происходило близкоодновременно с образованием рудных тел, а пирит во вмещающих породах образуется раньше галенита и других сульфидов, следует считать, что сульфидная сера «опережала» свинец и другие элементы-спутники в общем едином потоке рассеивающихся компонентов.

Признавая, что процесс рудообразования во времени тесно сочетается с открытием старых и образованием новых трещин, можно представить, что при проникновении гидротермальных рудоносных растворов в приоткрывшиеся трещины вследствие резкого падения внешнего давления часть сероводорода должна была выделиться из растворов и рассеяться в трещиноватых пористых вмещающих породах, проникая преимущественно в направлении падения давления, т. е. в надрудную толщу. По мере своего проникновения во вмещающие породы и выравнивания давления сероводород растворялся в относительно охлажденных поровых растворах вмещающих пород и вступал в химические реакции с вездесущим железом пород, в результате которых образовывался пирит. Таким образом, отмеченное «опережение» серой других элементов в процессе рассеивания связано скорее всего с миграцией сероводорода в газовой фазе. Естественно, что если двухвалентная сера к моменту проникновения свинца и других халькофильных элементов в данный участок вмещающих пород находилась в связанном состоянии в пирите, то пирит будет интенсивно замещаться галенитом и другими сульфидами. Экспериментально уже давно установлено, что при температурах, соответствующих условиям образования низкотемпературных и среднетемпературных месторождений, пирит с высокой активностью вступает в химические реакции с растворами, содержащими свинец, медь и цинк, замещаясь галенитом, халькопиритом и сфалеритом (Ловеринг, 1961).

Из сказанного выше вытекает, что распределение в ореолах рассеяния элементов с формой нахождения в виде сульфидов должно определяться распределением сульфидной серы во вмещающих породах.

тогда как в распределении элементов с другими формами нахождения (так, для урана — окисная) не должно обнаруживаться такой зависимости. Отсюда можно объяснить зональность строения общего ореола рассеяния на урановом месторождении, залегающем в кислых эффузивах, обусловленную развитием интенсивных ореолов рассеяния халькофильных элементов-спутников (свинца, молибдена и др.) выше рудных тел при относительно равномерном распределении урана в ореолах по вертикали, а также тесная пространственная связь ореолов рассеяния свинца и молибдена с зонами осветленных и пиритизированных пород.

Аналогичное развитие галенита по вкраплениям пирита в породе наблюдалось и на других изученных нами урановых месторождениях. Поэтому есть основание распространить приведенное выше объяснение причин зонального строения ореолов рассеяния на месторождении в кислых эффузивах и на другие урановые месторождения. В связи с этим необходимо еще отметить, что на месторождениях, залегающих в гранитах и фельзитах, пиритизация во вмещающих породах проявлена гораздо слабее, чем на месторождении в кислых эффузивах. Концентрация свинца и других халькофильных элементов-спутников в ореолах рассеяния этих месторождений тоже гораздо ниже, чем на месторождении в кислых эффузивах. Это обстоятельство наводит на мысль, что концентрации халькофильных элементов-спутников в ореолах рассеяния в какой-то степени связаны с количеством сульфидной серы, рассеянной во вмещающих породах.

Учитывая, что на урановых месторождениях основная причина зонального распределения элементов в пределах общих ореолов рассеяния, развивающихся около рудных тел, очевидно, заключается в высокой летучести одного из компонентов гидротермальных растворов — сероводорода, можно утверждать, что, хотя размеры и интенсивность ореолов рассеяния определяются внешними факторами, зональность в их строении обуславливается влиянием внутренних факторов миграции и прежде всего различной летучестью компонентов гидротермальных растворов. Отсюда следует, что по составу руд можно предсказать не только состав ореолов рассеяния, относительные размеры ореолов рассеяния различных элементов и относительную концентрацию их в ореолах, но и возможные элементы-индикаторы скрытых рудных тел. Конечно, при такой прогнозной оценке ореолов рассеяния по составу руд необходимо учитывать структурную обстановку локализации рудных тел, влияние вмещающих пород, генетические особенности месторождения и т. д.

В заключение следует отметить, что изучение гидротермальных месторождений без привлечения данных по их ореолам рассеяния является неполноценным. Действительно, в рудных телах мы видим только часть привнесенных рудоносными растворами элементов, тогда как другая, часто значительная часть их находится в ореолах рассеяния. Приближенные расчеты показывают, что в ореолах рассеяния изученных нами урановых месторождений заключается столько же или несколько больше привнесенного урана, как и в рудных телах, а количество свинца и молибдена в ореолах рассеяния примерно в десять раз превышает количество этих элементов, сконцентрированных в рудных телах. Аналогичная картина установлена и на изученных свинцово-цинковых месторождениях, где количество свинца, цинка и других элементов, заключенных в ореолах рассеяния, в несколько раз превышает количество их в рудных телах. Таким образом, без привлечения данных по ореолам рассеяния невозможно оценить реальные масштабы привноса элементов гидротермальными рудоносными растворами.

Изучение ореолов рассеяния помогает лучше познать закономерности процесса рудоотложения, помогает выявить особенности поведения отдельных элементов в этом процессе.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение эндогенных ореолов рассеяния элементов показывает, что они имеют ряд важных особенностей, которые могут с успехом использоваться при поисках и разведке гидротермальных месторождений и, в частности, при поисках не вскрытых эрозией рудных тел. Основными из них являются следующие:

1. Состав ореолов рассеяния соответствует составу рудных тел. в связи с чем ореолы рассеяния являются прямыми признаками рудных тел.

2. Химические элементы, которые выделились в рудном теле в ту же стадию, что и промышленно ценные элементы, образуя ореолы рассеяния вокруг них, являются наиболее надежными прямыми индикаторами рудных тел или элементами-спутниками.

Те же химические элементы, которые выделились в дорудную или послерудную стадии минералообразования, являются косвенными индикаторами рудных тел.

Для изученных нами свинцово-цинковых месторождений наиболее важными элементами-индикаторами и спутниками свинца и цинка являются мышьяк и сурьма, а для урановых месторождений — свинец и молибден.

3. Размеры эндогенных ореолов рассеяния значительно превышают размеры рудных тел. В особенности они распространяются вверх над крутопадающими рудными телами и по простиранию при пологом их залегании.

На изученных нами месторождениях в случае обособленных рудных тел ореолы рассеяния распространяются над ними на 100—150 м, а над группой сближенных рудных тел — на 250—300 м. Проникновение ореолов рассеяния в стороны от рудных тел достигает десятков метров.

4. Размеры ореолов рассеяния отдельных химических элементов находятся в прямой зависимости от концентрации этих элементов в рудном теле и проникающей их способности и в обратной зависимости от величины геохимического фона элемента.

5. Химические элементы при эндогенном рассеянии закономерно распределяются вокруг рудных тел. При этом:

а) концентрация химических элементов, образующих ореолы рассеяния, закономерно убывает в стороны от рудного тела к краевым частям ореола;

б) в распределении содержаний химических элементов в ореолах рассеяния имеет место вертикальная зональность, выражающаяся в том, что отношение содержаний элементов в надрудной части вертикального разреза ореола отлично от отношений их содержаний в подрудной части ореола. Величина этих отношений закономерно уменьшается сверху вниз.

6. Все основные параметры эндогенных ореолов рассеяния, распространение их вверх над рудными телами, зональность в распределении химических элементов в поле рассеяния и т. п. зависят от геологических и физико-химических факторов.

Из геологических факторов наиболее важными являются литолого-структурные: расположение и интенсивность проявления в рудовмещающих породах зон трещиноватости и повышенной пористости, состав рудовмещающих пород и т. п. Среди геохимических факторов главней-

шими являются концентрация химических элементов в рудных телах, а также химические их свойства.

7. Зоны гидротермальноизмененных пород, образующиеся вокруг рудных тел, создают благоприятную среду для эндогенного рассеяния химических элементов, в связи с чем ореолы рассеяния распространяются, как правило, в пределах развития этих зон.

Все вышеуказанные особенности эндогенных ореолов рассеяния, выявленные при их изучении, а также проведенные опытные работы позволяют определить место геохимических методов, основывающихся на изучении ореолов рассеяния, в общем комплексе методов, используемых при поисках и разведке гидротермальных месторождений урана и других металлов, и определить задачи, которые могут решаться с их помощью.

Таковыми задачами являются:

а) поиски не вскрытых эрозией рудных тел гидротермального образования на геологически благоприятных участках, расположенных как на известных уже рудных полях, так и в пределах изученных рудных районов;

б) оценка перспектив рудоносности участков с выявленными рудопроявлениями и радиометрическими аномалиями;

в) оценка перспектив рудоносности глубоких горизонтов и флангов разведываемых месторождений.

Практика проведенных нами методических и опытных работ показала, что на основе изучения эндогенных ореолов рассеяния химических элементов может решаться также и ряд других геологических задач, возникающих при поисках гидротермальных месторождений.

Следует подчеркнуть некоторые основные условия использования эндогенных ореолов рассеяния для решения указанных выше задач.

Прежде всего необходимо учитывать, что геохимические методы являются методами, с помощью которых выявляются важные дополнительные критерии и признаки гидротермальных рудных тел, в связи с чем они должны использоваться в комплексе с геологическими, а для месторождения радиоактивных руд совместно с радиометрическими наблюдениями. Успех их применения зависит от того, насколько полон комплекс этих наблюдений, проведенных на участке поисковых работ.

В связи с необходимостью при оценке геохимических аномалий иметь детальные знания о геологическом строении участков, на которых проводятся геохимические исследования, выявление и изучение эндогенных ореолов рассеяния при поисках следует проводить, на участках, геологически изученных в масштабе не менее 1 : 2000 и в отдельных случаях — 1 : 5000.

Учитывая, что коренные породы участков, на которых проводятся поисковые работы, могут быть закрыты плащом элювиально-делювиальных отложений, выявление эндогенных ореолов рассеяния может проводиться на основе изучения вторичных ореолов рассеяния, образующихся в этих отложениях над коренными породами с первичными ореолами рассеяния. В изученных нами районах с аридным климатом устанавливается хорошая их корреляция, если покров рыхлых отложений не превышает 3 м. В случае, если мощность их больше или рыхлые отложения состоят из дальнопринесенного материала (лессы и т. п.), необходимо применять бурение или другие способы вскрытия эндогенных ореолов рассеяния.

Рассмотрим несколько примеров использования выявленных нами закономерностей эндогенного рассеяния химических элементов вокруг рудных тел для решения упомянутых выше задач.

Одним из примеров, характеризующих ореолы рассеяния на площадях, благоприятных по геологическим данным для обнаружения не

вскрытых эрозией урановых рудных тел, является описанное нами выше рудное поле месторождения, залегающего в кислых эффузивах.

На этом рудном поле, характеризующемся выходами типичных для района рудовмещающих пород вулканогенной толщи, наличием рудо-контролирующих структур, широким развитием зон гидротермальноизмененных пород и т. д., имеет место широкое развитие ореолов рассея-

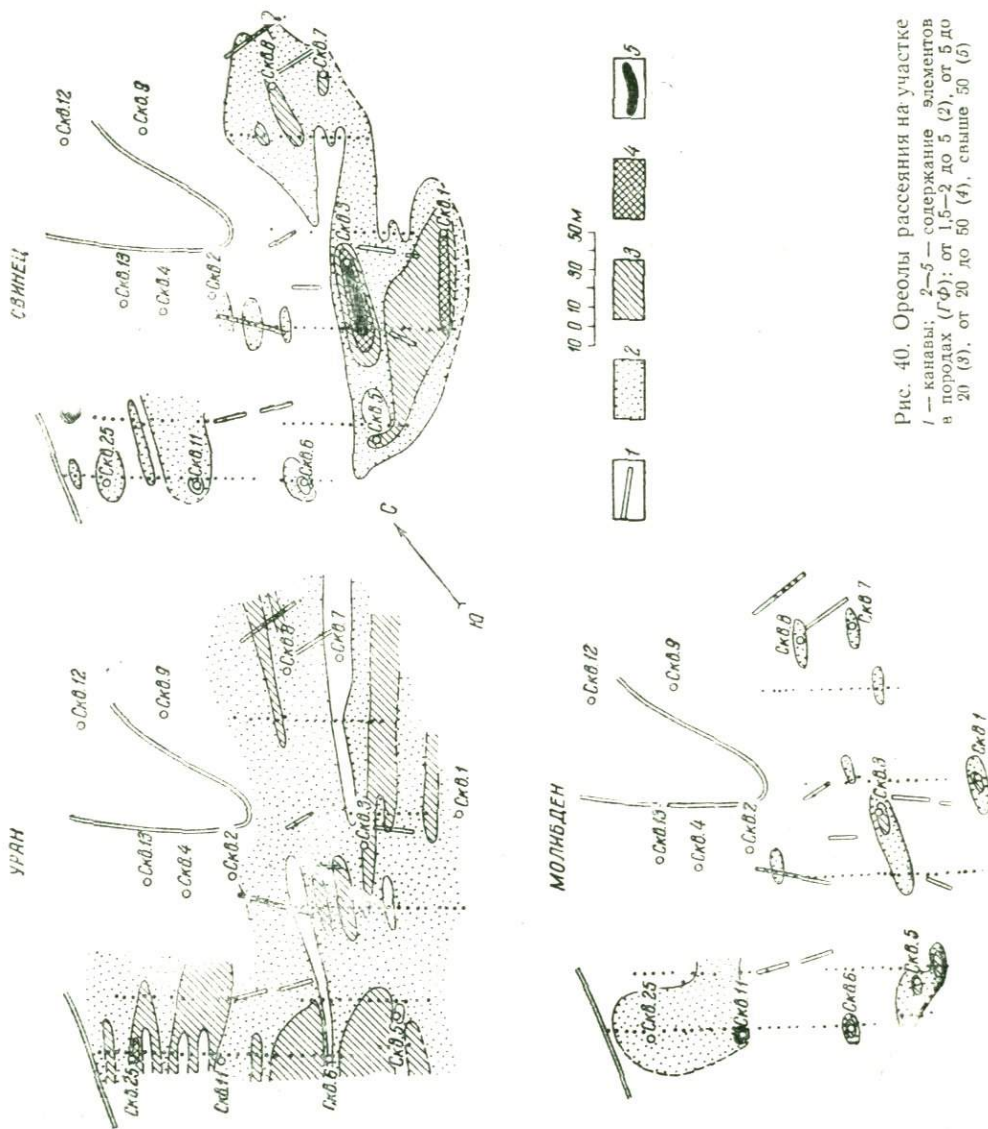


Рис. 40. Ореолы рассеяния на участке / — каналы; 2-5 — содержание элементов в породах (ГФ): от 1,5-2 до 5 (2), от 5 до 20 (3), от 20 до 50 (4), свыше 50 (5)

ния подвижного урана (см. рис. 16), свинца (см. рис. 17) и молибдена. Высокая интенсивность ореолов рассеяния последних, локализация их на участках развития дизъюнктивных нарушений указывают на то, что они благоприятны для обнаружения урановых рудных тел, не вскрытых эрозией. Как было уже сказано выше, рудное поле этого месторождения характеризуется наличием большого количества таких рудных тел.

Примером участка, на площади которого выявлены ореолы рассеяния урана и его спутников, указывающие на вероятность обнаружения рудных тел, не вскрытых эрозией, является участок, расположенный

к западу от этого месторождения. Сложен он кварцевыми порфирами, туфами и туфобрекчиями кварцевых порфиров, которые с глубиной сменяются обсидиановыми лавами и лавобрекчиями. Мощность указанных отложений на площади участка, по данным буровых скважин, составляет 100—170 м. Ниже указанных пород залегают туфолавы более древней свиты.

Вулканогенные породы прорваны дайками кварцевых порфиров, имеющих северо-восточное простирание и крутые углы падения на северо-запад. Мощность этих даек меняется от 5 до 30 м. Участок располагается в месте расщепления регионального разлома и характеризуется наличием дизъюнктивных нарушений, совпадающих по направлению с дайками кварцевых порфиров.

Коренные породы обнажены только в юго-восточной части участка. Северо-западная же часть закрыта лёссовыми отложениями. На обнаженной части участка проявлено интенсивное осветление и пиритизация пород, а также покраснение их в виде отдельных пятен (рис. 40). В отдельных точках выявлены слабые гамма- и эманационные аномалии.

Геохимическая съемка, проведенная на обнаженной части участка, выявила ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена. Ореолы рассеяния совпадают с участками осветленных и пиритизированных пород.

Ореолы рассеяния урана низкой интенсивности (около 5 ГФ) занимают широкую площадь, среди которой в виде пятен обнаруживаются поля интенсивностью до 20 ГФ (см. рис. 40).

Ореол рассеяния свинца имеет высокую интенсивность. Концентрация свинца в отдельных пробах достигает 0,1—0,3%.

Ореол рассеяния молибдена проявляется в виде отдельных пятен с интенсивностью до 5 ГФ и редко до 20 ГФ.

Благоприятная геолого-структурная обстановка участка, интенсивное проявление гидротермального изменения пород позволяли оценить его как перспективный в отношении выявления на глубине урановых рудных тел. Выявленные ореолы рассеяния урана и, в особенности, интенсивные ореолы свинца подтвердили эту оценку. В связи с этим участок был подвергнут разведке. В первую очередь было проведено бурение скважин. Они располагались по профилям с расчетом подсечения дизъюнктивных нарушений дайковой зоны, расположенной в юго-восточной части участка, на глубине от 100 до 400 м.

Пробуренные скважины на различных глубинах вскрыли интервалы с промышленным содержанием урана. Такие, например, интервалы были вскрыты по скв. 4 на глубине 109—112 м, 251—257,5 м, по скв. 6 и 11 — на глубине 100—110 м.

Пройденная на участке разведочная шахта глубиной 240 м также вскрыла несколько рудных тел небольшого размера, приуроченных к дизъюнктивным нарушениям дайковой зоны.

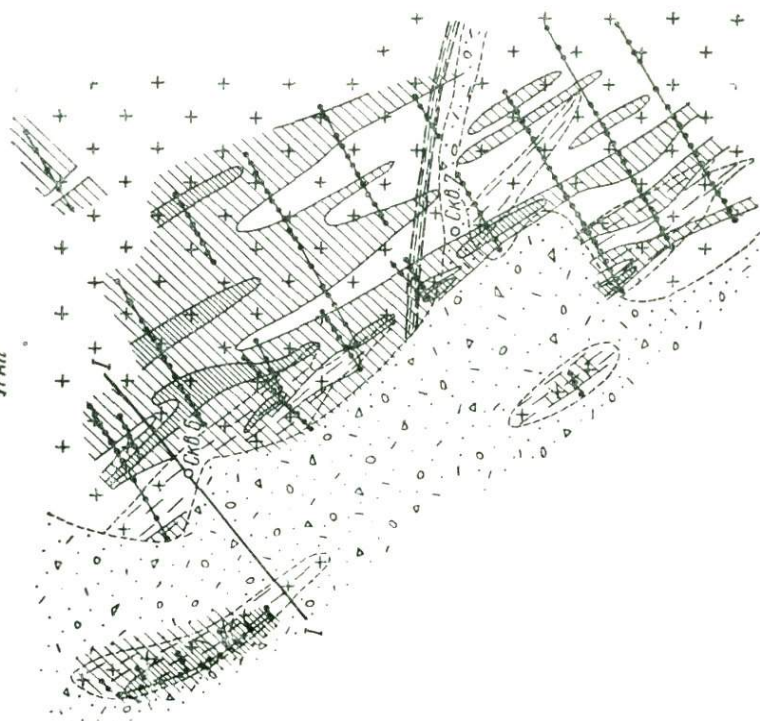
Второй участок, на котором были получены положительные результаты, расположен к северо-востоку от месторождения, залегающего в гранитах. На участке отчетливо выделяются две зоны слабой грейзенизации гранитов. Прослеживаются эти зоны в северо-западном направлении на расстоянии более чем 400—500 м при средней ширине в первые десятки метров. Зоны то расширяются, то образуют пережимы (рис. 41).

Зоны грейзенизации гранитов пересекаются крутым дизъюнктивным нарушением широтного простирания, представленным мощной зоной дробления и перетирания пород. Как известно, на месторождении, залегающем в гранитах, зоны грейзенизации являются благоприятными для локализации оруденения. В пределах обеих зон выявлены точечные слабые гамма-аномалии.

СВИНЕЦ



УРАГ



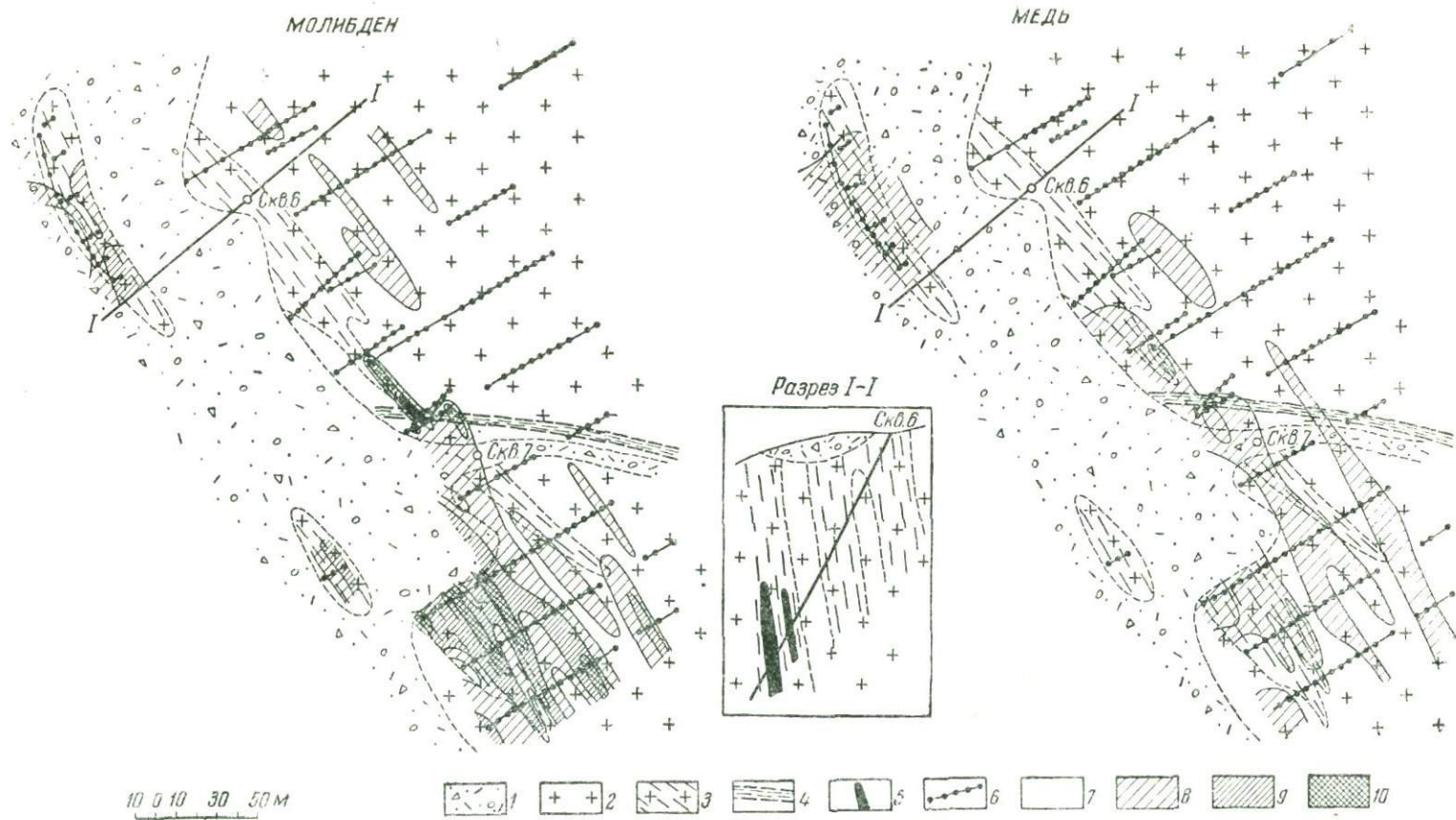


Рис. 41. Ореолы рассеяния на участке

1 — аллювиально-делювиальные отложения; 2 — граниты; 3 — гнейзенизированные граниты; 4 — тектонические нарушения; 5 — урановые рудные тела; 6 — профили с интервалами опробования; 7—10 — содержание элементов в ореолах рассеяния (ГФ): до 3 (7), от 3 до 10 (8), от 10 до 50 (9), более 50 (10)

Геохимическое опробование проводилось по профилям, ориентированным вкрест простирания зон грейзенизации. Примерно между этими зонами располагается русло речки, в связи с чем значительная часть участка, в том числе большая часть юго-западной зоны, закрыта русловыми отложениями большой мощности, что не позволило опробовать зоны грейзенизации на всем их протяжении.

В результате геохимического опробования коренных пород на участке были выявлены интенсивные и протяженные ореолы рассеяния урана и его спутников — свинца, молибдена, меди (см. рис. 41).

Скважины, пробуренные на участке распространения юго-западной зоны, на глубине около 80 м, вскрыли скрытые рудные тела небольших масштабов с промышленными рудами.

Рассмотрим случаи отрицательной оценки радиометрических аномалий по ореолам рассеяния химических элементов. Один из участков опытных работ, проведенных М. В. Кутенковым, расположен в северной части массива гранит-порфиров. На этом участке гамма-съёмкой было обнаружено несколько гамма-аномалий повышенной интенсивности. Эти аномалии приурочены к зоне дробления, имеющей простирание $35-40^\circ$ и падение на северо-запад под углом $80-85^\circ$. Мощность зоны дробления колеблется в широких пределах — от первых десятков сантиметров до 5—8 м. По простиранию она прослежена на 350—390 м (рис. 42).

В рельефе северо-восточный фланг зоны имеет превышение по отношению к юго-восточному флангу на 200—250 м, что дает значительное вскрытие зоны по вертикали. Зона нарушения представлена раздробленными сильно трещиноватыми породами и сопровождается на отдельных участках покраснением пород. Отмечается редкая вкрапленность сульфидов — преимущественно пирита, халькопирита, сфалерита. Участок зоны был вскрыт канавами через 35—40 м; а точки с наиболее высокой активностью — шурфами на глубину до 3—5 м. Эти данные явились основанием для положительной оценки рудопроявления, в связи с чем намечена была его разведка горными выработками.

На площади рудопроявления было проведено геохимическое опробование коренных пород с целью выявления ореолов рассеяния химических элементов для оценки рудоносности глубоких горизонтов зоны по ореолам рассеяния. Результаты отобранных проб показали, что, кроме урана, только три химических элемента Pb, Zn и Mo обнаруживаются на площади геохимической съёмки с несколько повышенным содержанием.

Ореол рассеяния урана пространственно тяготеет к зоне дробления. Во вмещающих зону породах ореолы рассеяния урана приурочиваются к мелким зонам трещиноватости. Ореолы его рассеяния с концентрациями выше 50 ГФ совпадают с участками наиболее высокой гамма-активности.

Ореол рассеяния свинца проявлен очень слабо. Содержание его в пробах из зоны дробления обычно не превышает 2—3 ГФ. Более высокие концентрации (до 10 ГФ) встречаются лишь в единичных случаях и пространственно совпадают с повышенными концентрациями урана.

Цинк в повышенном количестве устанавливается только в точках с повышенным содержанием урана. Ореол рассеяния молибдена отсутствует.

Такой характер распределения химических элементов в коренных породах наблюдается на разных уровнях эрозионного среза зоны дробления.

Таким образом, отсутствие ореолов рассеяния не подтверждает благоприятную оценку участка, сделанную на основании геологических и радиометрических данных.

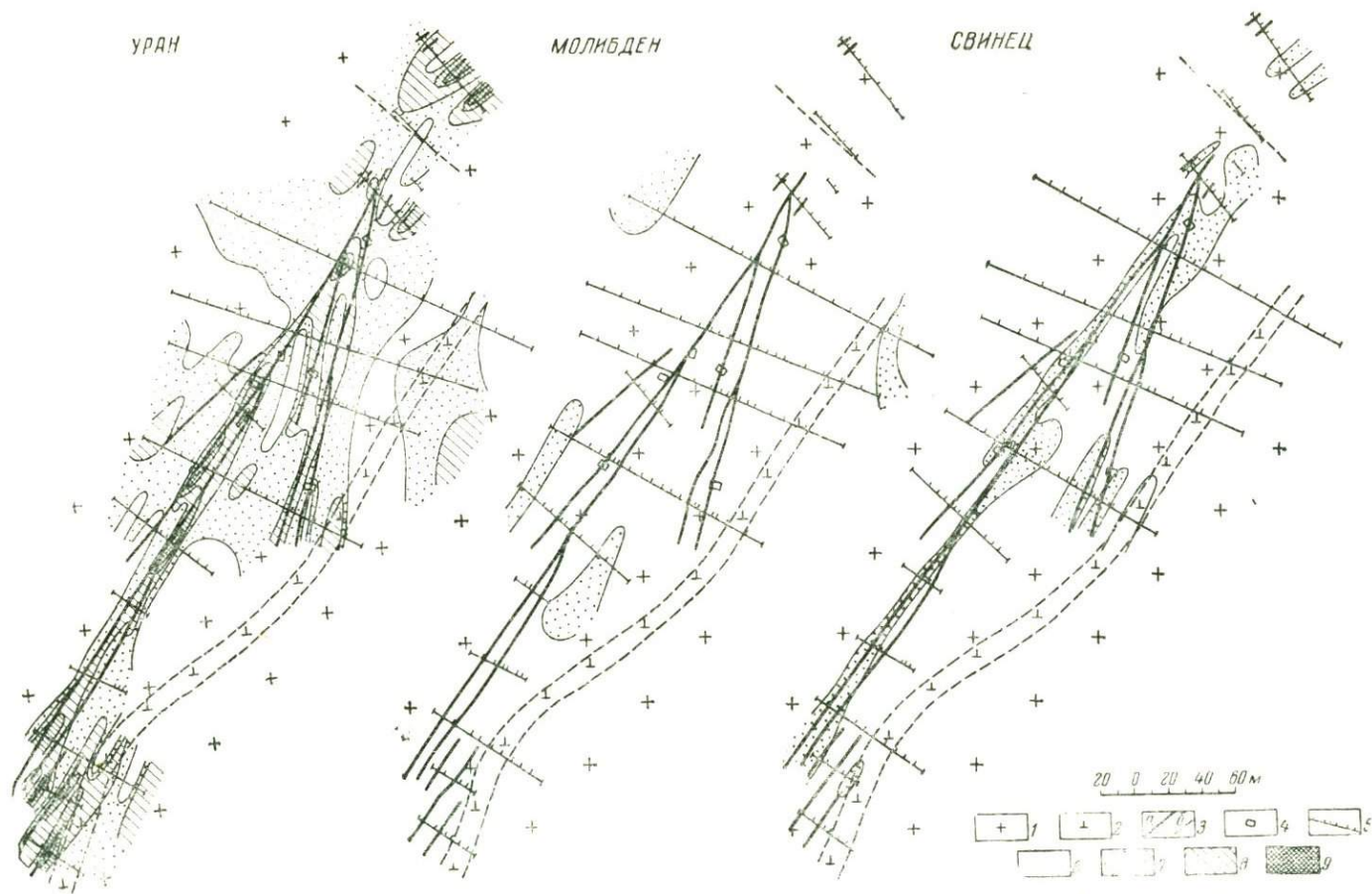
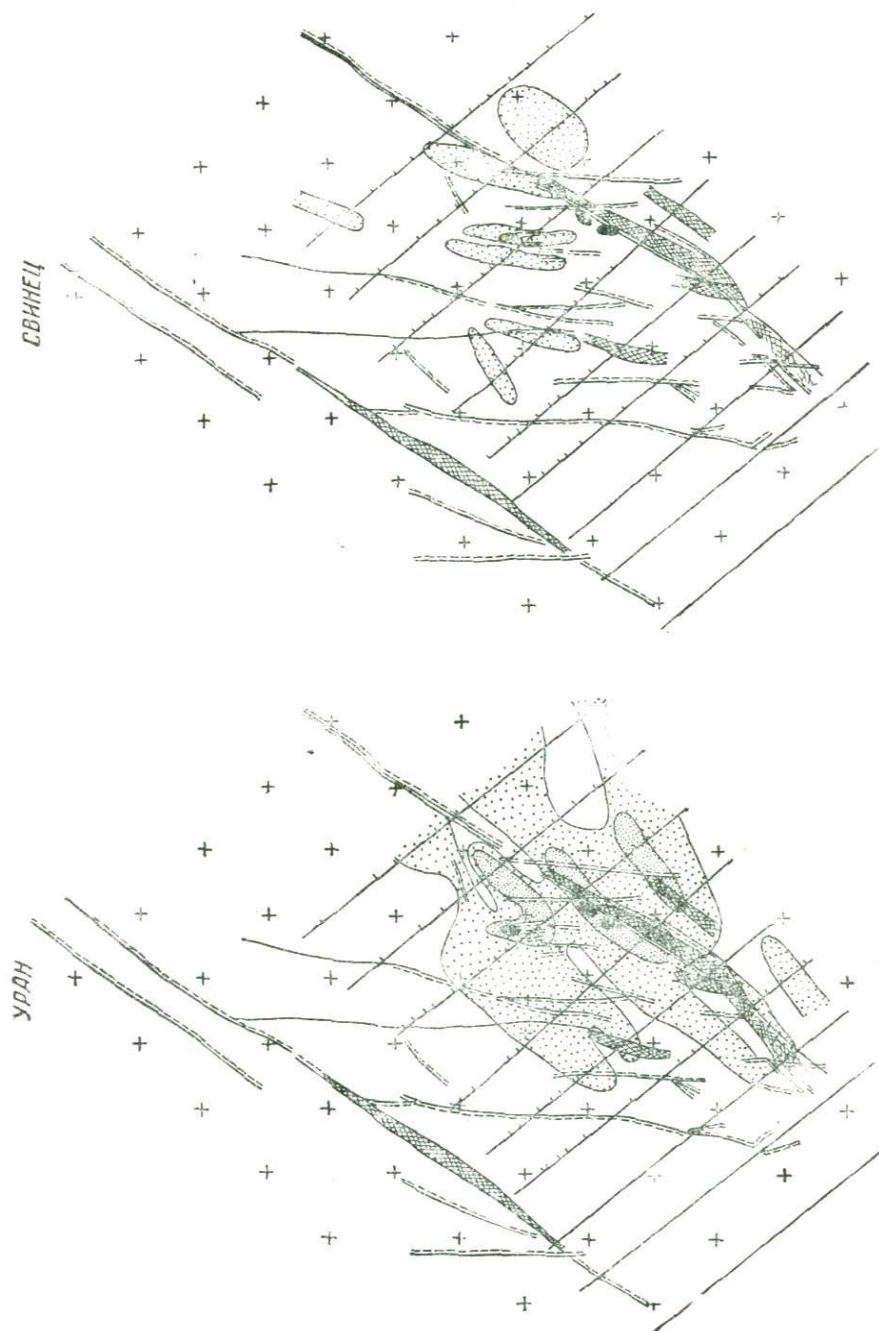


Рис. 42. Ореолы рассеяния на участке

1 — гранит-порфиры; 2 — диабазовые порфириты; 3 — тектонические нарушения прослеженные (а) и предполагаемые (б); 4 — шурфы; 5 — профили с интервалами опробования; 6—9 — содержание элементов (Гр): менее 2 (6), от 2 до 10 (7), от 10 до 50 (8), более 50 (9)

Штольня, пройденная с целью разведки глубоких горизонтов рудопроявления на уровне 200—250 м ниже верхних отметок зоны, показала отсутствие уранового оруденения на вскрытом горизонте и подтвер-



дила отрицательную оценку перспектив рудопроявления на глубину, сделанную по ореолам рассеяния.

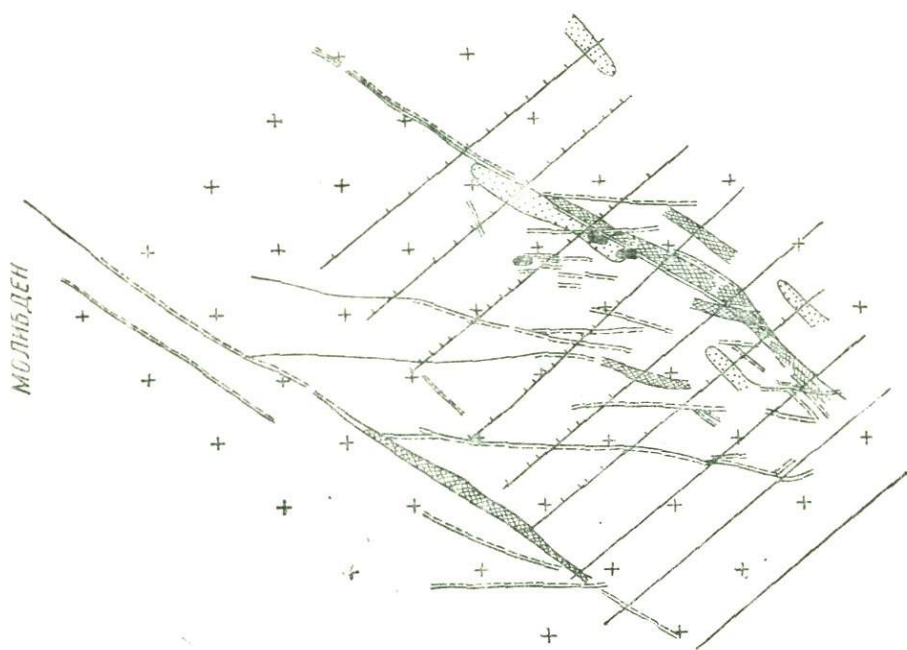
Вторым примером отрицательной оценки служат работы, проведенные на участке, где также на поверхности имеются выходы промышленных руд (рис. 43). Для оценки перспектив этого участка на глубину было проведено геохимическое опробование коренных пород. Вме-

щающими оруденение породами являются экструзивные кварцевые порфиры, разбитые многочисленными дизъюнктивными нарушениями. Среди них выделяются две группы: крупные северо-восточные наруше-



Рис. 43. Ореолы рассеяния на участке

1 — кварцевые порфиры; 2 — тектонические нарушения; 3 — рудные тела; 4 — метатомегирические профили с интрузивами; 5—7 — содержание элемента (ГФ): менее 2 (5), от 2 до 10 (6), более 10 (7)



ния, имеющие значительную мощность, и более мелкие трещины меридионального простирания, в основном оперяющие нарушения первой группы. Известные на поверхности рудные тела тяготеют к местам сочленения дизъюнктивных нарушений разного направления.

Как следует из рис. 43, наибольшее распространение имеет ореол рассеяния урана. Все известные поверхностные выходы руд окаймля-

ются полями рассеяния с высокими содержаниями этого элемента (среднее содержание урана в этих полях превышает 30 ГФ).

Последнее свидетельствует о том, что выявленный ореол рассеяния урана в основном связан с известными и выходящими на поверхность рудными телами, а не со скрытыми на глубине.

Иначе обстоит дело со спутниками урана — свинцом и молибденом. На участке выявлено всего лишь несколько мелких пятен ореолов рас-

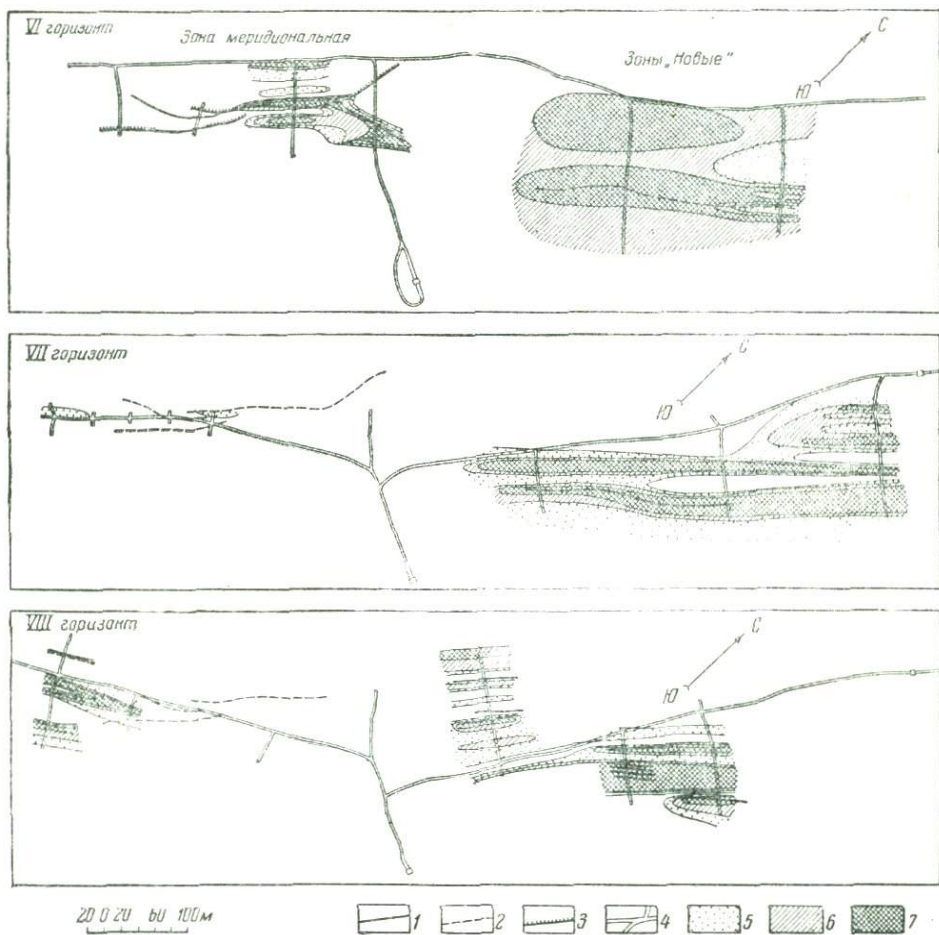


Рис. 44. Ореолы осветленных пород на различных уровнях урановых рудных тел в плане

1 — рудные тела; 2 — проекции рудных тел; 3 — рудоносные тектонические зоны; 4 — горные выработки; 5—7 — интенсивность осветления пород: слабая (5), средняя (6), высокая (7)

сеяния свинца и молибдена с концентрациями этих элементов не более 4—5 ГФ. Развитие интенсивного ореола рассеяния урана и практическое отсутствие ореолов рассеяния спутников урана — свинца и молибдена — означает, что выходящие на поверхность руды являются корневыми частями рудных тел, и их перспективы на глубину ничтожны.

Горные выработки, вскрывшие глубины описанного нам участка, промышленных рудных тел не обнаружили и подтвердили отрицательную его оценку.

Таким образом, выявленные закономерности эндогенного рассеяния элементов вокруг рудных тел, как указывалось, могут также с успехом использоваться и для оценки глубоких горизонтов и флангов разведываемых месторождений.

Весьма убедительно это можно показать на примере, полученном нами на вышеописанном месторождении, залегающем в кислых эффузивах.

При разведке нижних горизонтов одного из рудных тел проводилось геохимическое опробование горноразведочных выработок (квершлагов). Это опробование показало, что квершлагы VI горизонта вскрывают ореолы рассеяния спутников урана, которые проявлены

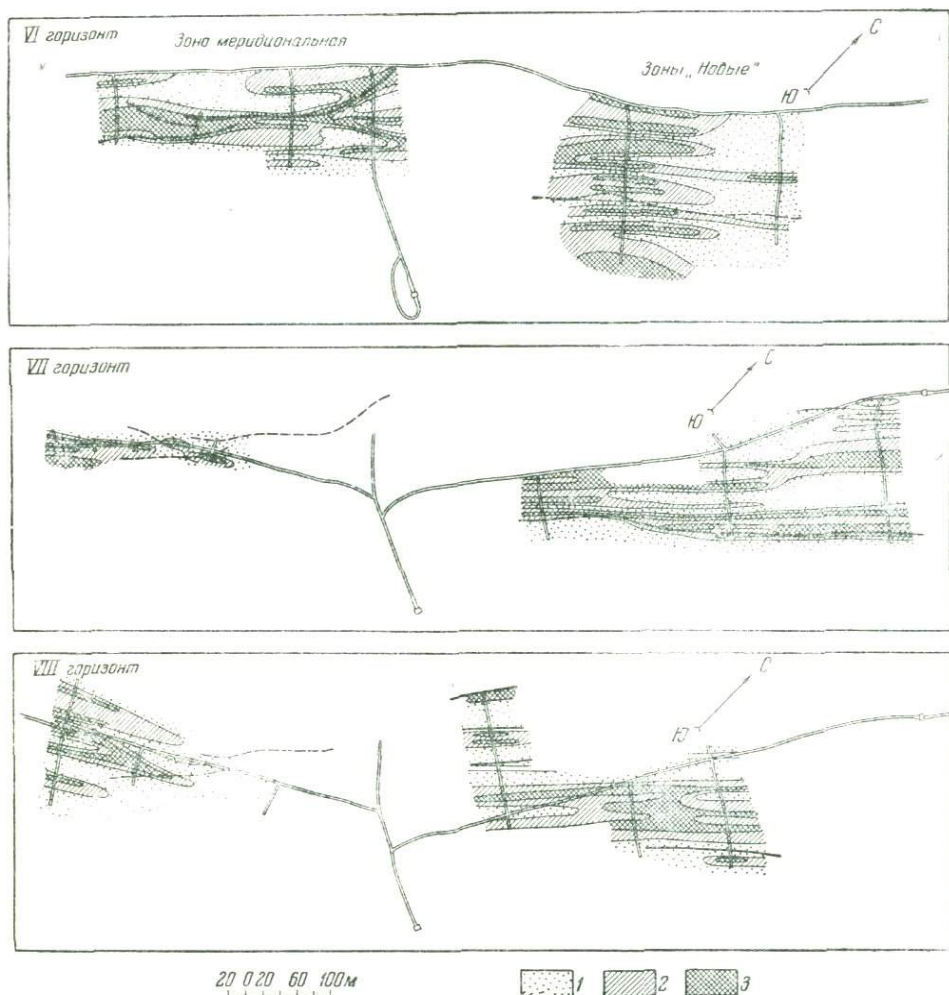


Рис. 45. Ореолы рассеяния урана на различных уровнях урановых рудных тел в плане. Содержание подвижного урана в породах (ГФ): 1 — от 2 до 20; 2 — от 20 до 50; 3 — более 50; остальные обозначения см. на рис. 44

здесь слабо. Ореол же урана имеет еще высокую интенсивность, т. е. вскрытое этой выработкой рудное тело является нижней его частью и ниже выработки оно должно выклиниваться (рис. 44—47).

Этот вывод подтвердился в результате проходки квершлагных выработок на VII и VIII горизонтах. Ореолы рассеяния свинца и молибдена на уровне этих горизонтов практически не проявлены (см. рис. 46, 47), а рудное тело отсутствовало. При этом ореол рассеяния урана сохранил свою интенсивность (см. рис. 45).

Таким образом, в аналогичных условиях горизонты, располагающиеся ниже горизонтов, на которых, хотя и есть рудные тела, но почти нет ореолов рассеяния спутников, могли не вскрываться.

Совершенно иное положение было обнаружено во фланговых выработках VI горизонта (см. рис. 44—47, правая часть). Здесь были обнаружены интенсивные и широкие ореолы рассеяния не только урана, но и его спутников.

Основываясь на зональности строения ореолов рассеяния, следовало предположить о залегании на глубине скрытого оруденения. Квершлагная выработка VII горизонта вскрыла здесь два рудных тела

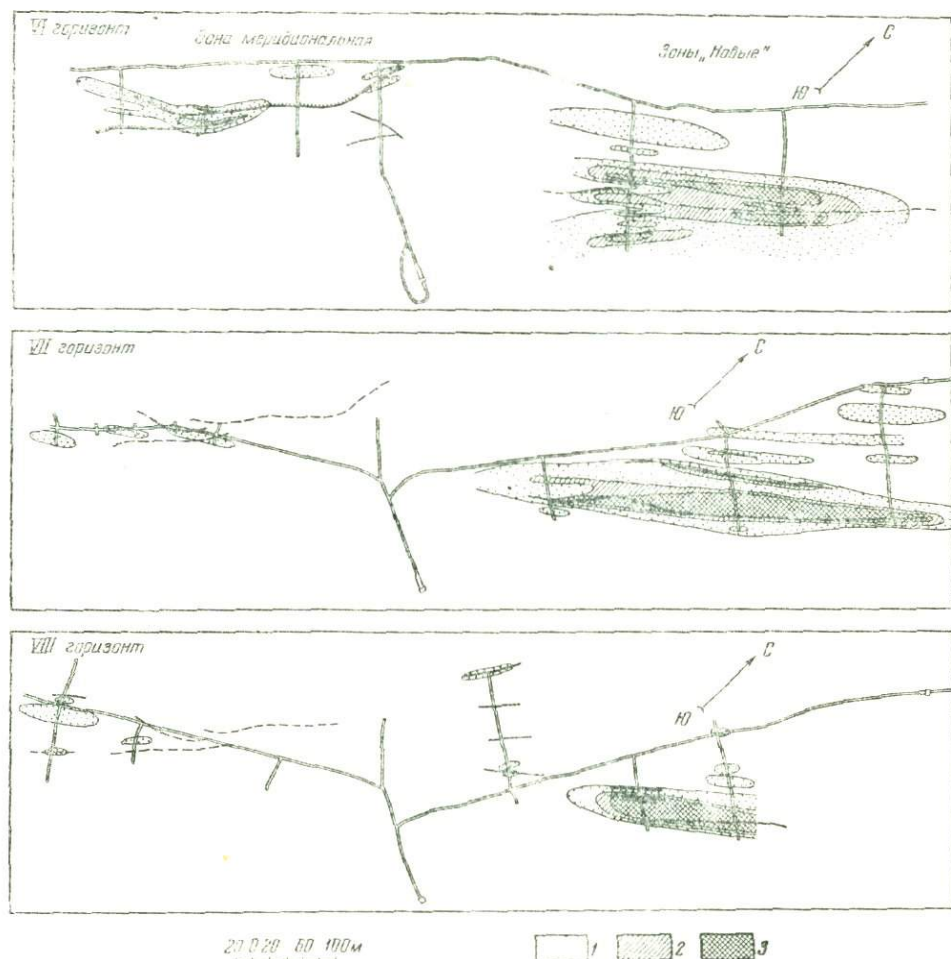


Рис. 46. Ореолы рассеяния молибдена на различных уровнях урановых рудных тел в плане

Содержание молибдена в породах (ГФ): 1 — от 2 до 20; 2 — от 20 до 50; 3 — более 50; остальные обозначения см. на рис. 44

и более интенсивные ореолы урана и его спутников. Выработки VIII горизонта вскрыли несколько сближенных параллельных рудных тел.

Следует также отметить, что ореолы рассеяния над этими зонами были вскрыты ранее на III и IV горизонтах и обнаруживались на поверхности. Именно этот пример и дал нам основание утверждать о возможности распространения ореолов рассеяния над группой рудных тел на протяжении 270—300 м (см. рис. 22).

Рассмотрение всех примеров использования эндогенных ореолов рассеяния при поисках скрытых рудных тел и при разведке нижних горизонтов и флангов месторождений показывает, что их изучение может дать поисковикам и разведчикам весьма важные дополнительные критерии, используя которые в комплексе с другими геологиче-

скими данными, можно более рационально определять места заложения и направление горноразведочных выработок и буровых скважин.

Основываясь на наших примерах, уже несколько горнорудных предприятий включили геохимическую съемку в обязательный комплекс руднично-геологической службы.

Из описанных выше примеров также видно, что, используя закономерности эндогенного рассеяния химических элементов вокруг рудных

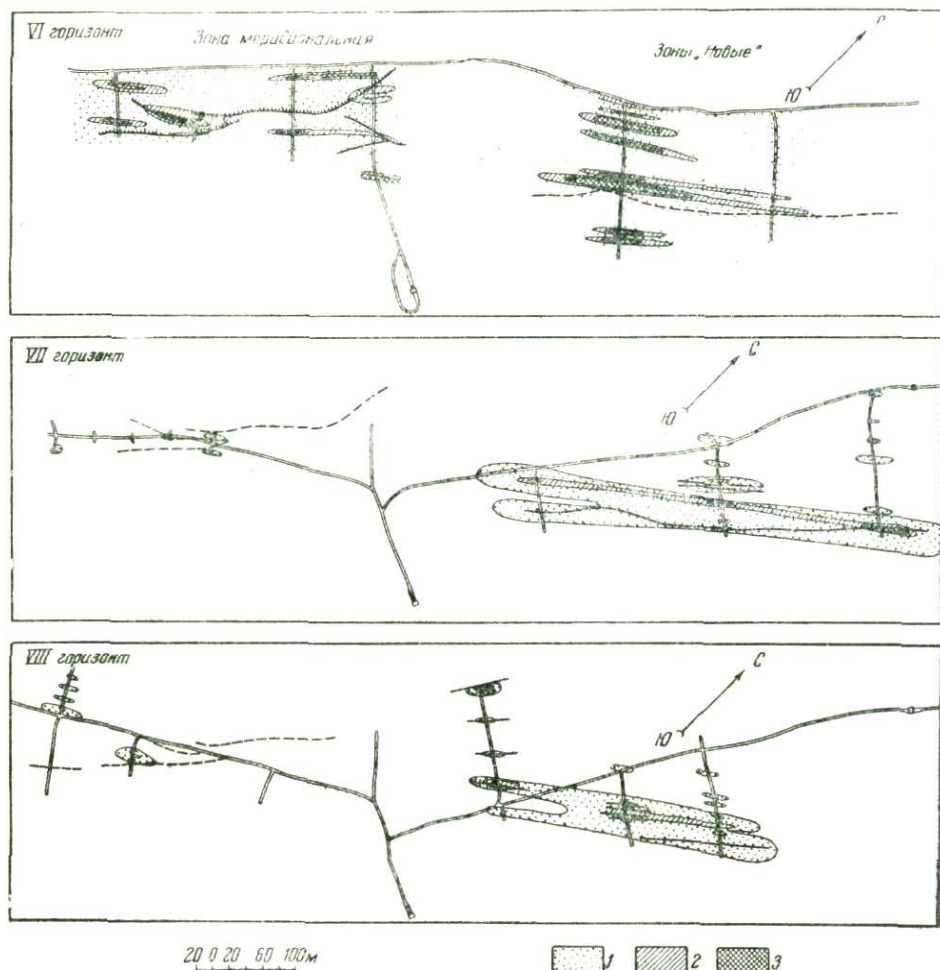


Рис. 47. Ореолы рассеяния свинца на различных уровнях урановых рудных тел в плане. Содержание свинца в породах (ГФ): 1 — от 2 до 20; 2 — от 20 до 50; 3 — более 50; остальные обозначения см. на рис. 44

тел и, в особенности, зонального их строения, можно в комплексе с геологическими критериями успешно решать задачи поисков скрытых рудных тел и давать оценку перспектив рудопроявлений на глубину и нижних горизонтов разведываемых месторождений.

Необходимо при этом отметить, что оценка геохимических аномалий урана и его спутников будет достоверна, если будет доказано, что спутники урана в ореолах рассеяния выделились в ту же стадию, что и уран, т. е. они являются прямыми индикаторами рудных тел.

В случае же с многостадийным процессом минералообразования, когда урановое оруденение является наложенным на свинцовое, свинец уже не может являться прямым индикатором рудных тел, а следова-

тельно, отношение его содержания к урану не будет отражать характерную зональность ореолов рассеяния вокруг урановых рудных тел.

Вот почему весьма важно одновременно с геохимической съемкой проводить структурно-минералогические наблюдения для установления генетических взаимоотношений минеральных ассоциаций и проверки достоверности выбранных элементов-спутников.

Следует также отметить, что изложенный нами фактический материал по характеристике эндогенных ореолов рассеяния касается конкретных рудных провинций. Необходимо иметь в виду, что в других рудных провинциях и для месторождений с иным составом руд может быть другой комплекс элементов-спутников.

Полученные нами предварительные данные говорят о том, что такими спутниками урана, кроме свинца и молибдена, могут быть мышьяк, таллий, ртуть, цирконий и некоторые другие элементы.

Проведенные нами исследования эндогенных ореолов рассеяния охватили недостаточное количество месторождений, залегающих в других геологических условиях. В связи с этим необходимо наряду с практическим использованием выявленных уже закономерностей расширить изучение эндогенных ореолов рассеяния в других рудных районах.

Основными задачами этих работ должны являться: выявление типичных комплексов элементов-спутников для месторождений с различным минеральным составом, дальнейшее изучение поведения химических элементов при эндогенном рассеянии, выявление условий рассеяния элементов в различной структурной и литологической обстановке и т. п.

Главной целью этих работ должно быть выявление критериев оценки геохимических аномалий, особенно в части определения глубины залегания скрытых рудных тел и возможных масштабов оруденения.

В заключение следует отметить, что дальнейшее изучение эндогенных ореолов рассеяния поможет также изучению вопросов теории гидротермального рудообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- Аренс Л. X. Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. Изд-во иностр. лит., 1952.
- Аверьев В. С., Набоко С. И. и Пийп Б. И. Современный гидротермальный метаморфизм в областях активного вулканизма. «Докл. АН СССР», т. 137, 1961, № 2.
- Бетехтин А. Г. Понятие о парагенезисе минералов. «Изв. АН СССР», серия геол. 1949, № 2.
- Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г. О причинах движения гидротермальных растворов. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г. О поведении радиоактивных элементов в эндогенных месторождениях урана. «Геология рудных месторождений», 1959, № 1.
- Билибин Ю. А. О вертикальной зональности рудных месторождений. «Зан. Всесоюз. Мин. об-ва», серия II, 1951, вып. 2.
- Боголюбов А. Н. и Сочеванов Н. Н. Мелкомасштабные металлометрические поиски полиметаллов по ореолам и потокам рассеяния. «Геология и разведка недр», 1959, № 10.
- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Избр. тр., т. 1. Изд-во АН СССР, 1954.
- Вершковская О. В. Первичные ореолы рассеяния ртути как поисковый признак ртутно-сурьмяных месторождений. «Разведка и охрана недр», 1956, № 4.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1950.
- Виноградов А. П. Геохимия за рубежом. «Изв. АН СССР», серия геол., 1961, № 7.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах горных пород. «Геохимия», 1962, № 7.
- Вольфсон Ф. И. Структура и генезис свинцово-цинковых месторождений Юго-Западного Карамазара. Изд-во АН СССР, 1951.
- Вольфсон Ф. И. Некоторые вопросы формирования гидротермальных урановых месторождений. «Изв. Высш. учебн. зав. Геология и разведка», 1961, № 9.
- Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенеза. Изд-во иностр. лит., 1959.
- Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. стат. под ред. В. И. Смирнова. Изд-во иностр. лит., 1954.
- Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. Тр. Первого Всесоюз. совещ. по геохим. методам поисков рудных месторождений, под ред. В. И. Красникова. Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург И. И. Геохимические методы поисков полезных ископаемых. «Вест. АН СССР», 1956, № 6.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Гольдберг И. С. К вопросу о химизме процесса осветления боковых пород при рудоотложении. «Докл. АН СССР», т. 133, 1960, № 3.
- Гольдшмидт В. М. Сборник статей по геохимии редких элементов, ГОНТИ, 1936.
- Ершов В. М. О возможности применения ртутнометрической съемки при поисках месторождений киновари на Среднем Урале. «Разведка и охрана недр», 1958, № 1.
- Каблуков А. Д. и Вертепов Г. И. Ореолы рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел. «Геология рудных месторождений», 1960, № 2.
- Коновова Р. С. Об эффективности и рентабельности гидрохимических и металлометрических методов поисков. «Советская геология», 1961, № 8.

Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд-во АН СССР, 1953.

Коржинский Д. С. Режим кислотности послемагматических растворов. «Изв. АН СССР», серия геол., 1957, № 12.

Королев А. В. и Полярков В. Э. Проявление гипогенной минерализации — индикатор скрытого оруденения. «Советская геология», 1948, № 34.

Красников В. И. Итоги Всесоюзного совещания по геохимическим поискам рудных месторождений. «Разведка и охрана недр», 1956, № 7.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

Красников В. И. Глубинные поиски рудных месторождений по первичным ореолам. Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Раздел I, геохимия. Госгеолтехиздат, 1960.

Краткий справочник химика. Госхимиздат, 1956.

Крылов И. Я. и Атрашенюк Л. Я. О формах нахождения урана в гранитах. «Геохимия», 1959, № 3.

Курек И. И. и др. Измененные окolorудные породы и их поисковое значение. Госгеолтехиздат, 1954.

Леонова Л. Л. Люминесцентный метод определения урана в изверженных горных породах. «Геохимия», 1956, № 8.

Ловеринг Т. С. Об изменении пород как поисковым признаке. Изд-во иностр. лит., 1951.

Ловеринг Т. С. Сульфидные руды, образовавшиеся из растворов, недосыщенных сульфидами. В сб.: «Физико-химические проблемы формирования горных пород и руд», т. 1. Изд-во АН СССР, 1961.

Муканов К. М. О некоторых особенностях образования первичных ореолов рассеяния рудных месторождений. Материалы по геол. рудн. м-ний, петрогр., минералог. и геохим. Изд-во АН СССР, 1952.

Муканов К. М. Опыт изучения полей минерализации и первичных ореолов рассеяния рудных жил на примере одного из полиметаллических месторождений Казахстана. В сб.: «Геохимические поиски рудных месторождений в СССР». Госгеолтехиздат, 1957.

Муканов К. М., и Россман Г. И. Первичные ореолы рассеяния некоторых полиметаллических и медных месторождений Центрального Казахстана и Рудного Алтая. Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Раздел I, геохимия. Госгеолтехиздат, 1960.

Овчинников Л. Н. Геохимическая подвижность по экспериментальным данным. «Докл. АН СССР», т. 109, 1956, № 1, стр. 141—143.

Овчинников Л. Н. Некоторые закономерности магматогенного рудообразования (по экспериментальным данным). Докл. советск. геолог. к XXI сессии МГК, пробл. 16. Госгеолтехиздат, 1960.

Овчинников Л. Н. и Шур А. С. О фильтрационном эффекте при просачивании растворов через минеральные фильтры. Тр. IV совещания по экспериментальной минералогии и петрографии. Изд-во АН СССР, вып. 2, 1953.

Озерова Н. А. О первичных ореолах рассеяния ртути над месторождениями Хайдаркан, Кадамджай и месторождениями Ферганского Каратау. Материалы конфер. молод. учен., посвящ. 40-летию ВЛКСМ, вып. IV, геол. секц. Изд-во АН СССР, 1958.

Опыт изучения первичных ореолов рассеяния полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В сб.: «Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР». Госгеолтехиздат, 1957.

Разумовский Н. К. О значении логарифмически-нормального закона распределения частот в петрологии и геохимии. «Докл. АН СССР», т. 33, 1941, № 1.

Рехарский В. И. О зональности в строении ореолов гидротермально измененных пород, вмещающих редкометалльные жилы. «Геохимия», 1957, № 3.

Рехарский В. И. К вопросу о закономерности распределения молибдена и урана в минерализованных зонах. «Изв. АН СССР», серия геол., 1959, № 8.

Рехарский В. И. и Крутецкая О. В. Молибден в породах юго-западных отрогов Северного Тянь-Шаня. Тр. ИГЕМ, «Вопросы геохимии», вып. II. Изд-во АН СССР, 1960.

Решение Всесоюзного совещания по геохимическим методам поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1956.

Родионов Д. А. О виде функции распределения содержаний минералов в изверженных породах. Тр. ИМГРЭ, вып. 6. Изд-во АН СССР, 1961.

Рожкова Е. В. и Серебрякова М. Б. Руководство по применению электролиза для изучения горных пород, руд, минералов. Госгеолтехиздат, 1953.

Розанов Ю. А. Пористость горных пород и ее роль в локализации эндогенного оруденения. «Геология рудных месторождений», 1961, № 2.

Россман Г. И. Первичное рассеяние металлов в боковых породах Николаевского колчедано-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). «Советская геология», 1960, № 6.

Россман Г. И. Опыт изучения первичных ореолов рассеяния полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В сб.: «Геохимические поиски рудных месторождений в СССР». Госгеолтехиздат, 1957.

Сауков А. А. Геохимия ртути. Тр. ИГН, серия минералогия—геохимия, вып. 78, № 17. Изд-во АН СССР, 1946.

Сауков А. А. Геохимия, изд. II. Госгеоллиздат, 1951.

Сауков А. А. Миграция химических элементов как теоретическая основа геохимических методов поисков. Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Раздел I, геохимия. Госгеолтехиздат, 1960.

Сафронов Н. И. К вопросу об «ореолах рассеяния» месторождений полезных ископаемых и их использовании при поисках и разведке. «Проблемы советской геологии», 1936, № 4.

Сафронов Н. И. К теории первичных ореолов рассеяния. Информ. сб. ВИТР, № 21. Госгеолтехиздат, 1959.

Сафронов Н. И. и Сергеев Е. А. Геохимические руднопоисковые методы в Советском Союзе. Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики. Раздел I, геохимия. Госгеолтехиздат, 1960.

Сафронов Н. И., Поликарпочкин В. В. и Трушков Ю. П. Комплексные методы поисков золота. «Советская геология», 1960, № 4.

Синдеева Н. Д. Один из геохимических поисковых признаков колчеданных месторождений. «Докл. АН СССР», т. 104, 1955, № 1.

Смирнов В. И. Проблемы поисков рудных месторождений, не имеющих выхода на поверхность Земли. «Советская геология», 1955, № 49.

Смирнов С. С. К вопросу о зональности рудных месторождений. «Изв. АН СССР», серия геол., 1937, № 6.

Соловов А. П. Объединения проб при детальном металлотрических съемках. «Разведка и охрана недр», 1957, № 10.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлотрических съемок. Изд-во АН Казахской ССР, 1959.

Соловов А. П. и Фурсов В. З. Поиски не выходящих на поверхность рудных тел месторождения Ачисай. «Советская геология», 1959, № 3.

Соколова И. Т., Королев В. В. Околожилые изменения кварцевых порфиров, связанные с редкометальным оруденением. «Геохимия», 1959, № 8.

Соловьев А. Н. К вопросу об оценке перспективности оруденения по результатам металлотрической съемки. «Разведка недр», 1952, № 4.

Соловьев А. Н. Поисковая металлотрическая съемка. «Советская геология», 1955, № 49.

Старик И. Е. и др. Определение урана в акцессорных минералах. «Докл. АН СССР», 1956, № 3.

Старик И. Е. и Крылов А. Я. Опробование гранитов для радиохимического изучения. Изд-во АН СССР, 1956 (Тр. Радиового ин-та, т. 7).

Суражский Д. Я. Методы поисков и разведки месторождений урана. Атомиздат, 1960.

Суражский Д. Я. и Тугаринов А. И. Об использовании изотопного состава свинца для поисков урановых руд. «Атомная энергия», т. 9, вып. 1, 1960.

Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. Изд-во АН СССР, 1961.

Таусон Л. В. К геохимии урана в гранитоидах Черновинского массива. «Геохимия», 1956, № 3.

Титов В. Н. Особенности геологической структуры и первичные ореолы рассеяния на свинцово-цинковом месторождении Окурдаван. «Изв. Высш. учебн. завед. Цветная металлургия», 1961, № 1.

Федорчук В. П. и Никифоров Н. А. Об использовании надрудного пирита в качестве индикатора при поисках низкотемпературных месторождений закрытого типа. «Разведка и охрана недр», 1958, № 5.

Федорчук В. П., Поярков В. Э., Манучарьянц О. А. и др. Методика поисков и разведки слепых рудных залежей в пределах эксплуатирующихся рудно-сурьмяных месторождений пластообразного типа. Сб. матер. по геол. цветн., редк. и благородн. металл., вып. IV, Ташкент, 1959.

Федорчук В. П. О некоторых закономерностях формирования ореола прямых рудных индикаторов вокруг рудных залежей. «Геохимия», 1961, № 10.

Ферсман А. Е. Геохимия, т. II. Химтеоретиздат, 1934.

Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. Изд-во АН СССР, 1939.

Филиппов М. С. и Комлев Л. В. Уран и торий в гранитоидах Среднего Приднепровья. «Геохимия», 1959, № 5.

Фурсов В. З. Ореолы рассеяния ртути как поисковый признак на свинцово-цинковом месторождении Ачисай. «Геохимия», 1958, № 3.

Фурсов В. З. Поиски слепых свинцово-цинковых месторождений по ореолам рассеяния ртути. «Докл. АН СССР», т. 137, 1961, № 2.

Хохлов В. В. Методика полуколичественного спектрального анализа на 40—50 элементов в горных породах. «Изв. АН СССР», серия физ., 1955, № 19.

Хрушов Н. А. О вертикальной зональности некоторых рудных месторождений. «Зап. Всесоюз. Мин. об-ва», вып. 1, 1953.

Чейцов И. Г. О вхождении урана в некоторые породообразующие минералы. Тр. ИГЕМ, вып. 28. Изд-во АН СССР, 1959.

Шатров Б. Б. Первичный ореол рассеяния Екатерино-Благодатского месторождения. В сб.: «Новое в методике и технике геол.-разв. работ», вып. II. Госгеолтехиздат, 1959 (Тр. ВИТР).

Ahrens L. H. The lognormal distribution of the elements. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 5, n. 2, 1954.

Bradbury I. C. Mineralogy and the zoning Northwestern, Illinois Zine-Lead District. *Econ. Geol.*, v. 56, n. 1, 1961.

Duffell, Stanley. Diffusion and Relation to Ore Deposition *Economic Geology*, v. 32, 1937, p. 494—510.

Everhart D. I. and Wright R. I. The Geological character of typical pit-blende veins. *Econ. Geol.*, v. 48, n. 2, 1953.

Falbarin H. W. and oth. A co-operative investigation of precision and accuracy in chemical, spectrochemical and modal analyses of silicate rocks. *US Geol. Surv. Bull.*, n. 980, 1954.

Garrels R. M., Dreyer R. M. and Holland A. L. Diffusion of Ions Through Intergranular Spaces in Water-Saturated Rocks. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v. 60, n. 12, part 1, 1949.

Heinrick D., Holland H. and oth. The Use of Leachable uranium in Geochimical Prospecting in the Colorado Plateau. Part II. *Econ. Geol.*, v. 53, n. 2, 1958.

Hill V. G. Geochemical Prospecting for Nickel in the Blue Mountain Area. *Jamaica. Econ. Geol.*, v. 56, n. 6, 1961.

Holland H. D., Curtiss B. R., McGill G. E. and Peterson J. A. The use of Leachable Uranium in Geochemical Prospecting Colorado Plateau I. The Distribution of Leachable Uranium in Core Samples Adjacent to the Homestake Ore Body Indian Wash, Utah. *Econ. Geol.*, v. 52, n. 5, 1957, p. 546.

Kerr P. F., Robinson A. F. Uranium mineralization of the Suneline Mine, Idaho. *Min. Engr.*, v. 5, n. 5, 1933.

Lovering T. S., Sokolov V. P., Morris H. T. Heavy metals in altered rock over blind are bodies, East Tintic distr., Utah. *Econ. Geol.*, v. 43, n. 5, 1948, p. 384—399.

Miller R. L., Goldberg E. D. The Normal Distribution in Geochemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 8, 1955, p. 53.

Rosenfeld J. L. The Contamination Reaction Rules. *Amer. J. Sci.*, v. 259, n. 1, 1961.

Sacinburry C.-Z. Metalization and Postmineral Hypogene Argillization, Lost River, Tin Mine, Alaska. *Econ. Geol.*, v. 55, n. 7, 1960.

Tooms G. S., Gohn S. W. Geochemical Prospecting Investigations in the Northern Rhodesia Copperbelt. *Econ. Geol.*, v. 56, n. 5, 1961.

Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v. 72, n. 2, 1961.

Warren H. V., Delavault R. E. Readily Extractable Copper in Eruptive Rocks as a guide for prospecting. *Econ. Geol.*, v. 54, n. 7, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Глава I. Общие понятия об эндогенных ореолах рассеяния и геохимическом фоне	9
Глава II. Состав эндогенных ореолов рассеяния. Химические элементы-индикаторы рудных тел	11
Глава III. Методика отбора и анализа геохимических проб	13
Глава IV. Эндогенные ореолы рассеяния химических элементов вокруг свинцово-цинковых рудных тел	16
Ореолы рассеяния вокруг крутопадающих рудных тел	16
Краткое геологическое описание месторождений	16
Описание ореолов рассеяния	18
Распределение химических элементов в ореолах рассеяния	25
Зональность ореолов рассеяния	31
Ореолы рассеяния вокруг пологозалегающих рудных тел	32
Краткое геологическое описание месторождения	32
Описание ореолов рассеяния	33
О формах нахождения химических элементов в ореолах рассеяния	38
Основные выводы	41
Глава V. Эндогенные ореолы рассеяния химических элементов вокруг рудных тел урановых месторождений	42
Месторождение, залегающее в кислых эффузивах	42
Краткое геологическое описание месторождений	42
Ореолы рассеяния на площади месторождения	44
Описание ореолов рассеяния вокруг рудного тела зона Меридиональной	47
Зональность ореола рассеяния вокруг рудного тела зоны Меридиональной	50
Описание ореолов рассеяния вокруг рудных тел зон «Новых»	52
Месторождение, залегающее в фельзитах	55
Краткое геологическое описание месторождения	55
Описание ореолов рассеяния	57
Месторождение, залегающие в гранитах	64
Краткое геологическое описание месторождения	64
Описание ореолов рассеяния	66
О формах нахождения урана и его спутников в ореолах их рассеяния вокруг урановых рудных тел	72
Основные выводы	78
Глава VI. Связь эндогенных ореолов рассеяния с околорудными изменениями вмещающих пород	79
Глава VII. Некоторые вопросы генезиса эндогенных ореолов рассеяния	88
Общие представления о формировании ореолов рассеяния	88
Способы образования ореолов рассеяния	90
Факторы, влияющие на формирование ореолов рассеяния	93
Зональность ореолов рассеяния	100
Глава VIII. Об использовании эндогенных ореолов рассеяния при поисках и разведке гидротермальных месторождений	104
Литература	119

Е. М. Янишевский, С. В. Григорян, Э. Н. Баранов,
Г. И. Вертепов, А. Д. Каблуков

ЭНДОГЕННЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ
НЕКОТОРЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства *А. И. Федотова*

Обложка художника *Т. Н. Арсеньевой*

Технический редактор *В. В. Быкова*

Корректор *Т. М. Кушнер*

Сдано в набор 12/X-1962 г.
Подписано к печати 8/XII-1962 г.
Формат бумаги $70 \times 10^{3/16}$ Бум. л. 3,88.
Печ. л. 10,61. Уч.-изд. л. 10,32.
Т-12337. Тираж 3000 экз. Зак. 899. Цена 72 коп.

Картфабрика Госгеолтехиздата



ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
14	7—8 сверху	„подвижной“	„подвижный“
25	14 сверху	значительными	значимыми
46 и 47		Подпись рисунка 17 относится к рис. 18	
116 и 117		Подпись рисунка 46 относится к рис. 47	

72 коп.

1491